

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica



Diseño e implementación de un protocolo de comunicaciones para la administración y filtrado de canales en una red de televisión paga

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura

Ruddy Céspedes Calvo

Cartago, octubre del 2005

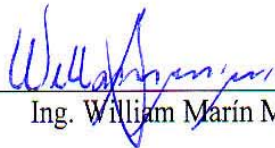
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

TRIBUNAL EVALUADOR

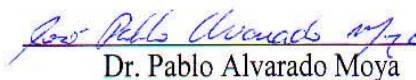
Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



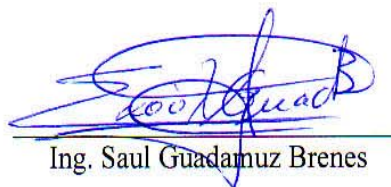
Ing. William Marín Moreno

Profesor lector



Dr. Pablo Alvarado Moya

Profesor lector



Ing. Saul Guadamuz Brenes

Profesor asesor



TEC
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Electrónica

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, 3 de Octubre del 2005

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 5 de Octubre del 2005

A handwritten signature in blue ink, reading "Ruddy C.C.", positioned above a horizontal line.

Ruddy Céspedes Calvo

Cédula: 303870443

RESUMEN

La presente documentación plantea el diseño de un protocolo que indique el filtrado de canales en la señal de televisión por cable, de forma remota para cada usuario. Esto transmitiendo una señal desde la central, a través de la red de cable actual, que será utilizada para el direccionamiento y ejecución de la acción, por parte de una terminal, para combinar mediante software la administración de los clientes.

El proyecto nace como iniciativa de Cable Caribe S.A. y se dirige a la necesidad de la empresa para realizar desconexión y reconexión puntual a usuarios morosos. La inclusión de nuevos servicios como lo son canales de entretenimiento específico y la optimización de los servicios actuales, son otras razones, y se pretende que constituya una forma de evitar la piratería de la señal. Todo lo anterior considerando que en la actualidad las empresas de televisión por cable del país, deben desplazar recursos para realizar estas labores manualmente.

El trabajo está enfocado al diseño y desarrollo de un protocolo de comunicación para un sistema de administración y filtrado remoto de canales, en una red de televisión paga, que forma parte del proyecto de administración y entretenimiento impulsado por Cable Caribe S.A.

Palabras claves: Protocolo Comunicación; CATV; Administración.

ABSTRACT

This documentation outlines the design of a protocol that indicates the filtrate of channels in the television signal for cable, in a remote way for each user. This achieve by transmitting a signal from the power station, through the current cable network that will be used for the addressing and execution of the action, on the part of the receiver, to combine by software the administration of the clients.

The project is born as initiative of Cable Caribe S.A. and it goes to the necessity of the company to cut-off and punctually re-connect the CATV signal to users. The inclusion of new services like channels of specific entertainment and the optimization of the current services, are other reasons, and it is sought it to constitute a form of avoiding the piracy of the sign. All the above-mentioned is considering that at the present time the television cable companies of the country should displace teams to carry out these works manually.

The work is focused to the design and development of a communication protocol for an administration system and remote filtrate of channels, in a television net it pays that forms part of the administration project and entertainment impelled by Cable Caribe S.A.

Keywords: Communication Protocol; CATV; Administration.

Dedicatoria

A Dios, amigo inseparable quien me dio la sabiduría y entendimiento para alcanzar una meta más en mi vida.

A mi bisabuelo, Sr. Alberto Calvo Rivera (qdDg), por inculcarme valores que llevaré conmigo por siempre. No te olvidaré.

A mis padres, Carlos y Mary, por guiarme en el camino del bien y de la verdad. Gracias por su confianza.

A mis hermanos, Viviana, Carlos, Cindy y Rodny, por darme el ejemplo y creer en mí.

A mis sobrinos, Kevin, Rudy, Wesley y Kenneth, que mi objetivo conseguido sea una fuente de inspiración.

A Milena, por su amor, apoyo y comprensión. Gracias por permitirme compartir este logro tan anhelado.

A la familia Calvo Aguilar, por su ayuda y consejo a lo largo de mi formación.

A mis colegas, Ing. Rafael Rojas, Ing. Edwin Vega e Ing. Johan Bermúdez, que con su amistad, me ayudaron a concluir esta etapa de mi vida.

Agradecimiento

Agradezco a la personal de la empresa Cable Caribe S.A., muy en específico al Sr. Santiago Pereira, por darme la confianza y las facilidades para realizar este proyecto.

Finalmente agradecer a todos los profesores que ayudaron en mi formación profesional, de manera especial a:

Ing. Alfonso Chacón

Ing. Roberto Pereira

Ing. Carlos Badilla

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción.....	11
1.1 Problema existente e importancia de su solución.....	11
1.2 Solución seleccionada	13
1.2.1 Requerimientos.....	13
1.2.2 Descripción general de la solución	14
1.2.3 Módulo administrador	14
1.2.4 Módulo de filtrado	15
Capítulo 2: Meta y Objetivos	17
2.1 Meta.....	17
2.2 Objetivo general.....	17
2.3 Objetivos específicos.....	17
a. Objetivos de hardware	17
b. Objetivos de software	17
c. Objetivos de documentación.....	18
d. Objetivos de implementación.....	18
Capítulo 3: Marco Teórico	19
3.1 Descripción del sistema a mejorar.....	19
3.2 Antecedentes Bibliográficos.....	20
a. Códigos de control de errores.....	20
b. Frecuencias de canales de televisión por cable	22
c. Códigos DTMF	23
3.3 Descripción de los principios electrónicos relacionados con la solución del problema.....	25
a. Tipos de modulación.....	25
Modulación Analógica.....	25
Modulación Digital.....	27
Capítulo 4: Procedimiento Metodológico	30
4.1 Reconocimiento y definición del problema.....	30
4.2 Obtención y análisis de información	30
4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución.....	30
4.4 Implementación de la solución.....	30
4.5 Reevaluación y rediseño.....	31
Capítulo 5: Descripción detallada de la solución	32
5.1 Descripción de las capas de la red	32
5.1.1 Capa física	32
5.1.2 Capa de enlace de datos	32
5.1.3 Capa de red	34
5.1.4 Capa de transporte	35
5.2 Aspectos de hardware	35
5.2.1 Modulo administrativo	35
5.2.2 Modulo de filtrado	35
5.3 Aspectos de software.....	38
5.3.1 Direccionamiento	38
5.3.2 Instrucciones implementadas	38
5.3.3 Descripción del software de la PC	39

5.3.4 Descripción del software del microcontrolador	43
Capítulo 6: Análisis de resultados	46
Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones.....	51
7.1 Conclusiones	51
7.2 Recomendaciones	51
Bibliografía	52
Apéndices.....	53
A.1 Glosario, abreviaturas y simbología	53
A.2 Tonos DTMF generados por la PC.....	54
A.3 Información sobre la empresa	62
A.4 Estándar ANSI de telefonía	63
A.5 Pico Macom PCM55 Audio & Video Modulator	64
A.6 Pico Macom PFAD Audio & Video Demodulator	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Diferentes alternativas de filtrado y administración de canales.	12
Figura 1.2	Diagrama de bloques general del sistema de administración y filtrado	14
Figura 1.3	Diagrama de bloques del módulo administrador	14
Figura 1.4	Diagrama de bloques del módulo de filtrado	16
Figura 3.1	Diagrama de bloques general del sistema de televisión por cable.	19
Figura 3.2	Sistema de transmisión de amplitud modulada.	25
Figura 3.3	Señales de un sistema de modulación en frecuencia.....	26
Figura 3.4	Señales de una modulación ASK.	27
Figura 3.5	Señales de una modulación FSK.	28
Figura 3.6	Señales de una modulación PSK.	28
Figura 5.1	Formato de la trama de datos.....	33
Figura 5.2	Entramado de los datos mediante la técnica de relleno de nibbles.	33
Figura 5.3	Descripción de la sección de control de las tramas.....	34
Figura 5.4	Diagrama de conexión del módulo administrador.....	35
Figura 5.5	Diagrama de conexión del módulo de filtrado.	35
Figura 5.6	Circuito decodificador DTMF.	36
Figura 5.7	Conexión del decodificador DTMF con el microcontrolador PIC16F873A.....	37
Figura 5.8	Atributos y correlación de las tablas de datos.	39
Figura 5.9	Diagrama de reproducción de los tonos DTMF	40
Figura 5.10	Diagrama de ejecución de la capa de enlace de datos	41
Figura 5.11	Pantalla principal del programa de pruebas del protocolo.....	42
Figura 5.12	Pantalla de captura de salida de datos.....	42
Figura 5.13	Diagrama del control de flujo de los datos.....	43
Figura 5.14	Diagrama del control de tiempo de llegada de los datos.	43
Figura 5.15	Diagrama de la verificación de la trama.	44
Figura 6.1	Forma de onda del tono D.....	46
Figura 6.2	Tiempos de envío del programa de alto nivel.	49
Figura A.2.1	Forma de onda del tono 1.....	54
Figura A.2.2	Forma de onda del tono 2.....	54
Figura A.2.3	Forma de onda del tono 3.....	55
Figura A.2.4	Forma de onda del tono 4.....	55
Figura A.2.5	Forma de onda del tono 5.....	56
Figura A.2.6	Forma de onda del tono 6.....	56
Figura A.2.7	Forma de onda del tono 7.....	57
Figura A.2.8	Forma de onda del tono 8.....	57
Figura A.2.9	Forma de onda del tono 9.....	58
Figura A.2.10	Forma de onda del tono 0.....	58
Figura A.2.11	Forma de onda del tono *.....	59
Figura A.2.12	Forma de onda del tono #.....	59
Figura A.2.13	Forma de onda del tono A.....	60
Figura A.2.14	Forma de onda del tono B.....	60
Figura A.2.15	Forma de onda del tono C.	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Frecuencias de canales de televisión por cable	22
Tabla 3.2	Pares de frecuencias empleadas para la generación DTMF	24
Tabla 5.1	Representación binaria de los códigos DTMF del integrado MT8870DE	36
Tabla 5.1	Significado de los códigos de envío	42
Tabla 6.1	Comparación de los diferentes sistemas de administración	47
Tabla 6.2	Resultados del entramado y código polinomial	48
Tabla 6.3	Resultados de las pruebas de transmisión	48

Capítulo 1: Introducción

1.1 Problema existente e importancia de su solución

En la actualidad el entretenimiento debe satisfacer las necesidades de los clientes actuales como clientes potenciales. Las empresas que proveen estos servicios deben crear un ambiente cada vez más atractivo para la incorporación de más usuarios, y el mantenimiento de los mismos ante la ardua competencia de este mercado. La constante innovación en la prestación de diversos servicios, así como la calidad de estos, marcan la pauta a seguir por estas compañías.

En la mayoría de los casos (Cable Caribe S.A. no es la excepción), las empresas de televisión paga ofrecen diferentes servicios, como lo son el Económico (con una cantidad limitada de canales), el Regular (con la totalidad de los canales) y el Premium (con canales extra de entretenimiento específico). Este último servicio Cable Caribe S.A. pretende brindarlo al implementar los equipos, derivados del desarrollo de este proyecto, ya que en la actualidad no se cuenta con esa posibilidad. El servicio económico se realiza mediante filtros que permiten un determinado número de canales, que deben ser instalados en las salidas de los taps¹, y estos están ubicados en las cercanías de los postes del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), montados sobre la red de cable. Lo anterior implica un costo de instalación y mantenimiento, debido a que estos filtros se venden por cantidades mínimas pre-establecidas por el fabricante, y pueden ser desinstalados fácilmente por terceros.

Las empresas de televisión paga incurren en gastos de tiempo y dinero muy elevados, para realizar las labores de desconexión y reconexión de los usuarios morosos. Esto por la necesidad de desplazar recursos para realizar estas labores manualmente. Al suspender el servicio, si el cliente no cancela lo comprometido el mismo día, la empresa disminuye la ganancias al no cobrar esos días que el usuario no tiene señal y además la reconexión resulta poco probable al acumularse el costo de ésta con la mensualidad adeudada.

La piratería constituye uno de los grandes problemas de las empresas de televisión paga. En nuestro país existen personas que ofrecen este servicio de manera ilegal, realizando la conexión desde una salida de los taps de las compañías de cable.

En la actualidad existen nuevas tecnologías para la transmisión de televisión paga, sin embargo implican costos cuantiosos y el desecho de una gran parte de la infraestructura de las redes actuales. El direccionamiento IP constituye una de estas tecnologías, sin embargo para poder utilizarla se deben instalar dispositivos para cada usuario, lo que implica un costo adicional de instalación y mantenimiento, que finalmente se ve reflejado en el cliente. La figura 1.1 ilustra las diferentes posibilidades que ofrece el mercado de este tipo de sistemas.

¹ Dispositivos que proporcionan la posibilidad de diversificar la señal de cable.

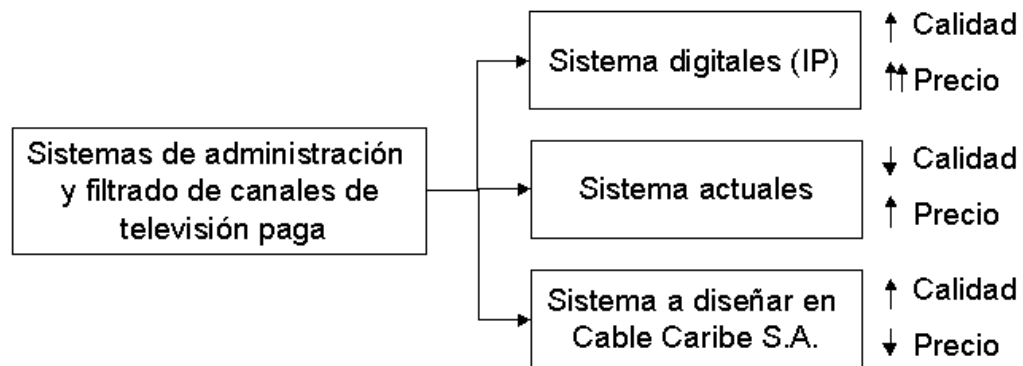


Figura 1.1 Diferentes alternativas de filtrado y administración de canales.

Presentada la situación Cable Caribe S.A., empresa líder en la venta de servicio de televisión paga en la zona Atlántica del país, pretende dedicar parte de sus esfuerzos en desarrollar un nuevo sistema de administración y filtrado de canales, que mejore la calidad de este servicio.

Este nuevo sistema pretende eliminar o minimizar los inconvenientes producidos por el sistema actual, la incorporación de nuevos servicios y la optimización de los actuales. Esto aprovechando la red y los equipos presentes, en combinación con hardware y software para una mejor administración.

La implementación de este dispositivo disminuiría los gastos de operación, que implica tratar con usuarios morosos. Esto al intentar persuadir al cliente de cancelar a tiempo, o de lo contrario la señal será interrumpida (filtrada) por intervalos de tiempo variables durante el día, hasta que finalmente se quede sin servicio. Lo anterior de forma automática y remota. Esto disminuiría la piratería, debido a que no todas las salidas del módulo de filtrado tendrán la señal sin filtrado.

El descuento del tiempo en desconexión y reconexión produciría un aumento en el tiempo que se dedica al mantenimiento de la red y a la instalación de nuevos clientes.

El proyecto se enfoca también en ampliar la cantidad de servicios que ofrece actualmente la compañía y satisfacer a sus clientes respecto a la calidad de éstos, en cuanto a tiempo de respuesta (complacencia de la demanda), lo que aumentaría la competitividad frente a las demás compañías. En la actualidad se solicitan de 1 a 3 días para la conexión y reconexión de la señal, para usuarios desconectados la reconexión sería inmediata, produciendo una complacencia con el servicio.

Los beneficios derivados de la solución del problema son los siguientes:

- Disminución en los tiempos de desconexión y reconexión, así como en los gastos de operación de éstas labores.

- La red de televisión paga de Cable Caribe S.A. actual no sufriría mayores cambios.
- Disminución en la piratería de la señal de cable.
- Brindar los servicios económico y regular de forma más expedita.
- Incorporación de nuevos servicios de entretenimiento específico (Canales Premium).
- Satisfacción de los clientes respecto a la calidad de servicios proporcionados por Cable Caribe S.A.
- Cable Caribe S.A. obtendría ventaja competitiva frente a las demás compañías al consolidar su nuevo sistema.

Finalmente el diseño e implementación de un protocolo de comunicación permitiría el envío de las instrucciones y datos desde la central hacia las terminales, con el fin de obtener los beneficios anteriores. Es por esto que el proyecto se enfoca al diseño de un protocolo y de las etapas que permitan su evaluación como primera parte del plan de Cable Caribe S.A., para mejorar su competitividad.

1.2 Solución seleccionada

1.2.1 Requerimientos

Los requerimientos establecidos por parte de la empresa en cuanto a los resultados esperados del proyecto se enumeran a continuación:

- El módulo de administración debe ser remoto.
- Cada módulo de filtrado debe manejar como mínimo 4 usuarios.
- Los tiempos de filtrado y la filtración deben ser variables por el modulo administrador.
- La transmisión debe realizarse en una dirección (sistema simplex) a través de la red actual.
- Se debe integrar el sistema para transmitir en un ancho de banda de 50 a 550 MHz.
- El sistema debe manejar condiciones de ruido implícitas para una red de televisión por cable.
- Diseñar un programa de alto nivel que comunique los comandos de administración del filtrado de los clientes.
- Elaborar un documento en el cual se indiquen los estudios necesarios, que contemple el diseño del sistema, las restricciones y recomendaciones técnicas.

1.2.2 Descripción general de la solución

El diseño del sistema comprende varias etapas de hardware como de software, para una óptima administración y filtrado de canales por usuario. La figura 1.2 muestra los módulos involucrados en el diseño, así como su interacción con las diferentes partes de la red actual.

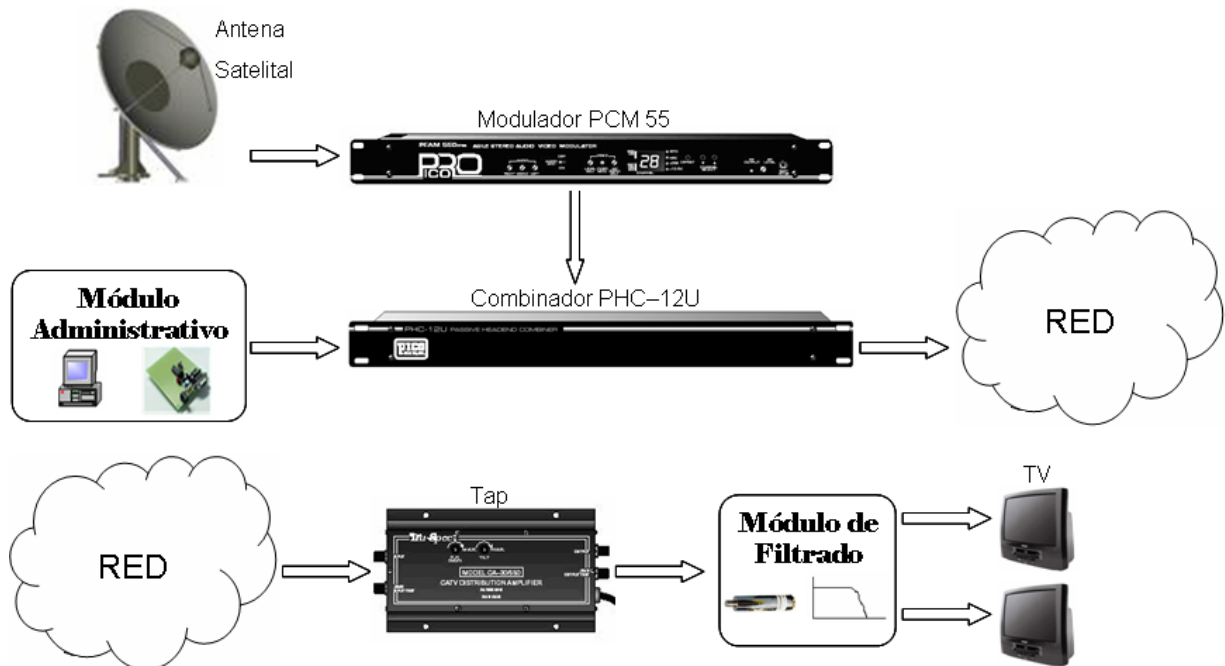


Figura 1.2 Diagrama de bloques general del sistema de administración y filtrado

El diseño completo consta de dos módulos, uno administrativo, y otro de filtrado. La idea es que exista un único módulo administrador colocado en la central y varios módulos de filtrado colocados en cada uno de los taps de la compañía, diferenciados uno de otro mediante una dirección.

1.2.3 Módulo administrador

Esta etapa involucra aspectos de software (alto y bajo nivel) como de hardware, la figura 1.3 muestra de forma general las unidades que lo conforman:

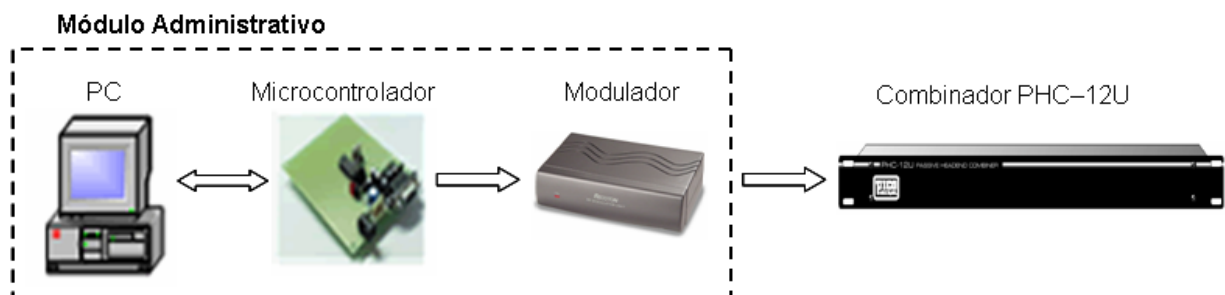


Figura 1.3 Diagrama de bloques del módulo administrador

Una sección de este módulo es la realización de un programa de alto nivel, que permita la escogencia de los tiempos de filtrado, así como el tipo de éste (total o parcial). El programa además de las funciones anteriores, debe comunicar al microcontrolador las acciones de filtrado y temporización que se desean realizar, y a su vez recibir las posibles excepciones que puedan ocurrir en la transmisión de estos comandos.

Por otra parte el microcontrolador tendrá la tarea de direccionar, codificar las instrucciones, manejar los tiempos de filtrado, a los diferentes módulos de filtrado, según las especificaciones de la PC.

Finalmente la señal del microcontrolador debe ser modulada para entrar en la red por medio del combinador² pasivo PHC-12U, en cuanto a esta modulación se debe definir si será digital o analógica (con sus respectivos cambios en el diseño), de acuerdo a los resultados de investigaciones a realizar, la experiencia del personal de la empresa y las tecnologías disponibles en el mercado. Como única restricción que se encuentra en la empresa es que debe realizarse en rango de 50 a 550 MHz, puesto que los combinadores disponibles poseen ese ancho de banda.

El operador de cable con las funciones anteriores, podrá persuadir a sus clientes morosos individualmente con un filtrado, por intervalos de tiempo variables por el mismo. Todo esto con el fin de minimizar el porcentaje actual de cortes por morosidad y a su vez bajar el rubro de incobrables (personas con morosidad que no pagan la reconexión). En el caso extremo el operador tendrá la posibilidad de suspender temporalmente el servicio. Otra posibilidad que ofrece el sistema son los diferentes tipos de filtrado, con lo que se puede realizar el servicio económico y la inclusión del servicio Premium, de acuerdo a la solicitud del cliente. Todas las acciones anteriores controladas desde la central de la compañía. Todo esto con el envío de las instrucciones respectivas por medio del protocolo a realizar.

1.2.4 Módulo de filtrado

Este módulo se desempeñará junto con los taps, y según las especificaciones de la empresa debe ser alimentado por la propia red de cable, por lo que debe realizar el diseño de una fuente de alimentación para el resto del módulo. Debido al ruido implícito en una red de televisión por cable este diseño debe contemplar una etapa de filtración para el buen funcionamiento del resto de los componentes.

La siguiente etapa consiste en el demodulador la señal, debe existir compatibilidad con el modulador del sector administrativo. Por consiguiente el microcontrolador, debe verificar si la información enviada por la red es dirigida hacia él, esto comparando el direccionamiento realizado contra su propia dirección (el microcontrolador posee una dirección por defecto, y puede ser variada por software). Comprobada esta situación se procede a decodificar las acciones encomendadas y su realización. Es decir este microcontrolador debe manejar el tipo de filtrado

² Mezclador o sumador de señales que puede ser activo o pasivo

solicitado y el cliente a quien se le realiza dicha acción, además como restricción impuesta debe controlar a un mínimo de cuatro clientes.

La fase de filtrado consiste en una filtración variable de cada usuario del tap, es importante decir que esta sección involucra una etapa de potencia, puesto que la salida es conectada a los televisores de los clientes, por lo que debe cumplir con un mínimo de potencia de salida aun no especificada por la empresa.

La siguiente figura ilustra los elementos involucrados en el diseño del módulo de filtrado.

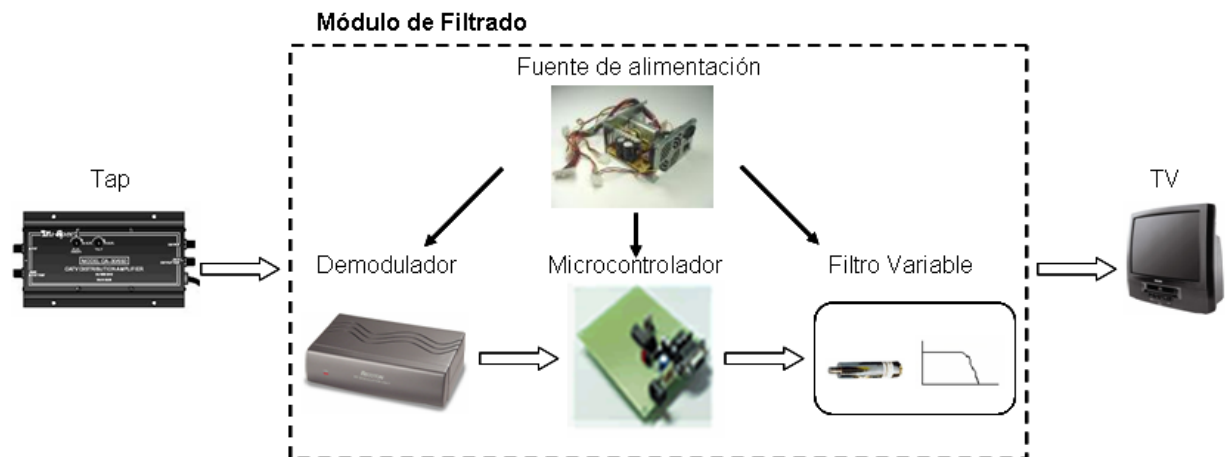


Figura 1.4 Diagrama de bloques del módulo de filtrado

Por último, cabe mencionar que este proyecto no contempla la realización de esta última etapa, puesto que sólo se realizarán las partes necesarias para la prueba del protocolo.

Capítulo 2: Meta y Objetivos

2.1 Meta

Contribuir con Cable Caribe S.A. en el diseño del sistema de administración y filtrado de canales automático y remoto, para una red de televisión paga, de alta calidad a bajo costo, y con esto incrementar el nivel competitivo de la compañía.

2.2 Objetivo general

Diseñar un protocolo de comunicaciones entre módulo administrativo y el módulo de filtrado, para la administración automática y remota de clientes, que pueda ser integrado a la red actual.

2.3 Objetivos específicos

a. Objetivos de hardware

➤ Módulo administrativo

1. Definir el tipo de modulación a utilizar, sea analógica o digital.
2. Seleccionar la frecuencia para el envío de los datos hacia la red.
3. Establecer los requerimientos de potencia necesaria para enviar los datos a través de la red.

➤ Módulo de filtrado

1. Diseñar un circuito basado en control programado capaz de reensamblar y decodificar instrucciones, para controlar los diferentes tipos de filtrado.

b. Objetivos de software

- Definir las capas o niveles de la red.
- Implementar la interfaz entre las capas.
- Definir la forma de direccionamiento de los diferentes módulos de filtrado.
- Implementar códigos para el control de errores.
- Establecer los mecanismos para desensamblar, transmitir y reensamblar los datos.
- **Módulo administrativo**
 1. Diseñar los métodos para el control de tiempo de filtrado, de los diferentes clientes de cada módulo.
 2. Desarrollar un programa en lenguaje de alto nivel que permita la escogencia de los tiempos y el tipo de filtrado.

➤ **Módulo de filtrado**

1. Diseñar los métodos de control del tipo de filtrado, de los diferentes clientes de este módulo.

c. Objetivos de documentación.

1. Elaborar un manual para la empresa, en el que se especifiquen la forma de conexión del sistema, las restricciones y recomendaciones técnicas.

d. Objetivos de implementación.

1. Realizar un prototipo funcional del sistema, involucrando el módulo administrativo y el receptor del módulo de filtrado.
2. Realizar pruebas del sistema, donde se pueda comprobar el acceso remoto y automático.

Capítulo 3: Marco Teórico

3.1 Descripción del sistema a mejorar

El sistema de Cable Caribe S.A. consta básicamente de un equipamiento central que recibe el nombre genérico de cabecera (head end) y una planta externa llamada red.

En la cabecera se centraliza la recepción y la generación de señales, y luego una combinación de éstas serán distribuidas a través del sistema. Los canales abiertos son retransmitidos, generalmente sin ser demodulados a la banda base. Una vez obtenidas todas las señales, se mezclan en un combinador de donde salen a la red.

En la red se puede distinguir 2 tipos de tendido: red troncal y red subtroncal. Un tercer tipo de cable de menores dimensiones se utiliza para transportar la señal hasta el domicilio del abonado.

La figura 3.1 muestra un diagrama general de la red de cable actual.

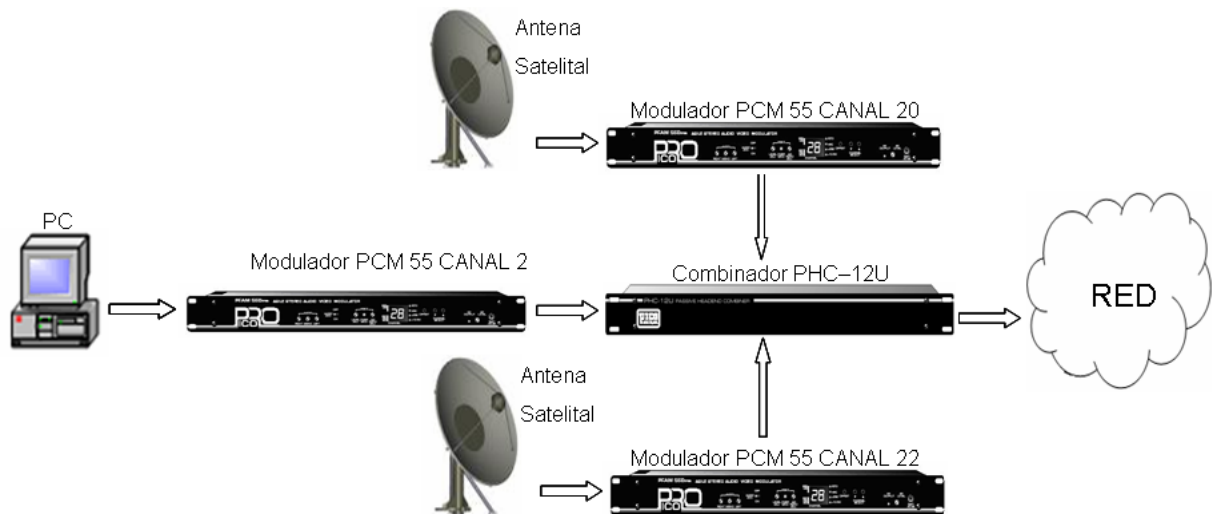


Figura 3.1 Diagrama de bloques general del sistema de televisión por cable.

El módulo administrativo será incorporado a la red por medio de los combinadores de la compañía de cable. Por esto se deben cumplir con los requerimientos de potencia, ancho de banda, entre otros, de éste dispositivo.

En la red antes del cable dirigido al cliente, se encuentra un diversificador de señal, conocido como tap. El proyecto pretende incorporar a este dispositivo el módulo de filtrado para realizar una filtración variable de los canales.

3.2 Antecedentes Bibliográficos

a. Códigos de control de errores

Todos los sistemas de codificación que permiten detección y corrección de errores se basan en una misma idea: redundancia.

El fundamento es sencillo: para poder distinguir si un valor es correcto o no, o sea representa un objeto o no, debo agregar información adicional al código. Entonces en todo sistema de codificación con capacidad de detectar errores el número de objetos representados es siempre menor que el número de valores posibles del código binario utilizado. Si elegimos convenientemente los códigos asociados a cada objeto estamos en condiciones de detectar errores producidos por el cambio de un bit en el código que representa un objeto.

➤ Códigos de corrección de errores

Para canales de una sola vía (simplex), se utiliza los códigos de corrección de errores. Es mejor agregar redundancia suficiente para corregir los datos, que confiar en la retransmisión, la cual podría venir con errores también. Un ejemplo es el código Hamming.

➤ Códigos de detección de errores[5]

Cuando las transmisiones son confiables, basta con detectar los errores y solicitar una retransmisión. Las retransmisiones se producirían hasta que un bloque llegue sin ningún error.

Un método más usado es el código polinomial (también llamado el cyclic redundancy code, o CRC). Se trata las cadenas de bits como polinomios con coeficientes de solamente 0 y 1. Un mensaje de k bits con un grado de $k-1$ corresponde a:

$$\text{bit}_0 x^{k-1} + \dots + \text{bit}_n x^{k-1-n} + \dots + \text{bit}_{k-1} x^0$$

La aritmética con estos polinomios es módulo 2 sin llevar, es decir la adición y la sustracción son equivalentes a XOR. La división usa XOR en lugar de sustracción y A se divide en B si el número de bits en B es mayor de o igual a el número en A .

El remitente y el receptor usan el mismo polinomio de generación, $G(x)$, con bits alto y bajo de 1.

Para calcular el checksum de r bits, que también es el grado de $G(x)$,

Añade r bits de 0 a $M(x)$, el mensaje, produciendo $x^r M(x)$.

Divide $x^r M(x)$ por $G(x)$, produciendo un resto.

Transmite $T(x) = x^r M(x) - \text{resto}$. $T(x)$ es divisible por $G(x)$. Sus últimos r bits son el checksum.

Si hay errores en la transmisión recibiremos $T(x)+E(x)$ en vez de $T(x)$. El receptor divide $T(x)+E(x)$ por $G(x)$. Ya que el resto debido a $T(x)$ es 0, el resto obtenido es completamente debido a $E(x)$. Si $E(x)$ tiene $G(x)$ como un factor, el resto será 0 y no detectaremos el error, de otro modo, sí.

Si hay un error de un bit, $E(x) = x^i$. Si $G(x)$ tiene más de un término, no puede dividir $E(x)$. Entonces podemos detectar todos los errores de un bit.

Con dos errores tendremos $E(x) = x^i + x^j = x^j (x^{i-j} + 1)$. Podemos usar un $G(x)$ que no divide $x^k + 1$ para cualquier k hasta el valor máximo de $i-j$ (que es la longitud del marco). Por ejemplo, $x^{15} + x^{14} + 1$ no divide $x^k + 1$ para $k < 32768$.

Si $x+1$ es un factor de $G(x)$, podemos detectar todos los errores que consisten en un número impar de bits invertidos. Prueba por contradicción: Asume que $E(x)$ tiene un número impar de términos y es divisible por $x+1$. Entonces $E(x) = (x+1)Q(x)$ por algún $Q(x)$. $E(1) = (1+1)Q(1) = (0)Q(1) = 0$. Pero $E(1)$ debe ser 1 porque consiste en la suma de un número impar de 1's.

Podemos detectar todos los errores en grupo con longitudes menos de o igual a r . Si el grupo tiene una longitud de k , lo podemos escribir como $x^i (x^{k-1} + \dots + 1)$ (i ubica el grupo en el marco). Si $G(x)$ contiene un término de x^0 , x^i no puede ser un factor y $G(x)$ no puede ser igual a $x^{k-1} + \dots + 1$ (el grado $k-1$ es menos de r).

Si el grupo tiene una longitud de $r+1$, la probabilidad que el grupo es $G(x)$ es la probabilidad que los $r-1$ bits intermedios del grupo son iguales (por definición el primer y el último bits del grupo son 1), que es $(1/2)^{r-1}$.

Para los grupos con longitudes mayor de $r+1$, la probabilidad es $(1/2)^r$.

Estándares internacionales:

- CRC-12 = $x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1$
- CRC-16 = $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$
- CRC-CCITT = $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$

Los dos últimos detectan todos los errores de uno y dos bits, los errores con un número impar de bits invertidos, los grupos de errores con longitudes menos de o igual a 16, 99,997% con longitudes de 17, y 99,998% con longitudes mayor o igual a 18.

b. Frecuencias de canales de televisión por cable

Tabla 3.1 Frecuencias de canales de televisión por cable[6]

NCTA (*)	Ref	STD(**) Video [MHz]	STD Sound [MHz]	HRC [MHz]	IRC [MHz]	NCTA (*)	Ref	STD(**) Video [MHz]	STD Sound [MHz]	HRC [MHz]	IRC [MHz]
VHF Low Band						Hyper Band					
1	A-B			72.0036	73.2625	37	X-AA	301.25	305.75	300.0150	301.2625
2		55.25	59.75	54.0027	55.2625	38	Y-BB	307.25	311.75	306.0153	307.2625
3		61.25	65.75	60.0030	61.2625	39	Z-CC	313.25	317.75	312.0156	313.2625
4		67.25	71.75	66.0033	67.2625	40	DD	319.25	323.75	318.0159	319.2625
5		77.25	81.75	N.D.	N.D.	41	EE	325.25	329.75	324.0162	325.2625
6		83.25	87.75	N.D.	N.D.	42	FF	331.25	335.75	330.0165	331.2625
5		N.D.	N.D.	78.0039	79.2625	43	GG	337.25	341.75	336.0168	337.2625
6		N.D.	N.D.	84.0042	85.2625	44	HH	343.25	347.75	342.0171	343.2625
FM Band						45	II	349.25	353.75	348.0174	349.2625
95	A-5	91.25	95.75	90.0045	91.2625	46	JJ	355.25	359.75	354.0177	355.2625
96	A-4	97.25	101.75	96.0048	97.2625	47	KK	361.25	365.75	360.0180	361.2625
97	A-3	103.25	107.75	102.0051	103.2625	48	LL	367.25	371.75	366.0183	367.2625
98	A-2	109.25	113.75	108.0250	109.2750	49	MM	373.25	377.75	372.0186	373.2625
99	A-1	115.25	119.75	114.0250	115.2750	50	NN	379.25	383.75	378.0189	379.2625
VHF Mid Band						51	OO	385.25	389.75	384.0192	385.2625
14	A	121.25	125.75	120.0060	121.2625	52	PP	391.25	395.75	390.0195	391.2625
15	B	127.25	131.75	126.0063	127.2625	53	QQ	397.25	401.75	396.0198	397.2625
16	C	133.25	137.75	132.0066	133.2625	54	RR	403.25	407.75	402.0201	403.2625
17	D	139.25	143.75	138.0069	139.2625	55	SS	409.25	413.75	408.0204	409.2625
18	E	145.25	149.75	144.0072	145.2625	56	TT	415.25	419.75	414.0207	415.2625
19	F	151.25	155.75	150.0075	151.2625	57	UU	421.25	425.75	420.0210	421.2625
20	G	157.25	161.75	156.0078	157.2625	58	VV	427.25	431.75	426.0213	427.2625
21	H	163.25	167.75	162.0081	163.2625	59	WW	433.25	437.75	432.0216	433.2625
22	I	169.25	173.75	168.0084	169.2625	60	XX	439.25	443.75	438.0219	439.2625
VHF High Band						61	YY	445.25	449.75	444.0222	445.2625
7	7	175.25	179.75	174.0087	175.2625	62	ZZ	451.25	455.75	450.0225	451.2625
8	8	181.25	185.75	180.0090	181.2625	63		457.25	461.75	456.0228	457.2625
9	9	187.25	191.75	186.0093	187.2625	64		463.25	467.75	462.0231	463.2625
10	10	193.25	197.75	192.0096	193.2625	65		469.25	473.75	468.0234	469.2625
11	11	199.25	203.75	198.0099	199.2625	66		475.25	479.75	474.0237	475.2625
12	12	205.25	209.75	204.0102	205.2625	67		481.25	485.75	480.0240	481.2625
13	13	211.25	215.75	210.0105	211.2625	68		487.25	491.75	486.0243	487.2625
VHF Super Band						69		493.25	497.75	492.0246	493.2625
23	J	217.25	221.75	216.0108	217.2625	70		499.25	503.75	498.0249	499.2625
24	K	223.25	227.75	222.0111	223.2625	71		505.25	509.75	504.0252	505.2625
25	L	229.25	233.75	228.0114	229.2625	72		511.25	515.75	510.0255	511.2625
26	M	235.25	239.75	234.0117	235.2625	73		517.25	521.75	516.0258	517.2625
27	N	241.25	245.75	240.0120	241.2625	74		523.25	527.75	522.0261	523.2625
28	O	247.25	251.75	246.0123	247.2625	75		529.25	533.75	528.0264	529.2625
29	P	253.25	257.75	252.0126	253.2625	76		535.25	539.75	534.0267	535.2625
30	Q	259.25	263.75	258.0129	259.2625	77		541.25	545.75	540.0270	541.2625
31	R	265.25	269.75	264.0132	265.2625	78		547.25	551.75	546.0273	547.2625
32	S	271.25	275.75	270.0135	271.2625	79		553.25	557.75	552.0276	553.2625
33	T	277.25	281.75	276.0138	277.2625	80		559.25	563.75	558.0279	559.2625
34	U	283.25	287.75	282.0141	283.2625	81		565.25	569.75	564.0282	565.2625
35	V	289.25	293.75	288.0144	289.2625	82		571.25	575.75	570.0285	571.2625
36	W	295.25	299.75	294.0147	295.2625	83		577.25	581.75	576.0288	577.2625
						84		583.25	587.75	582.0291	583.2625
						85		589.25	593.75	588.0294	589.2625
						86		595.25	599.75	594.0297	595.2625
						87		601.25	605.75	600.0300	601.2625

c. Códigos DTMF [7]

Una señal DTMF válida es la suma de dos tonos, uno de un grupo bajo y el otro de un grupo alto, con cada grupo conteniendo cuatro tonos individuales. Las frecuencias de los tonos fueron cuidadosamente seleccionadas de tal forma que sus armónicos no se encuentran relacionados y que los productos de su intermodulación produzcan un deterioro mínimo en la señalización. Este esquema permite 16 combinaciones únicas. Diez de estos códigos representan los números del cero al nueve, los seis restantes (*, #, A,B,C,D) son reservados para señalización especial. La mayoría de los teclados en los teléfonos contienen diez interruptores de presión numéricos mas el asterisco (*) y el símbolo de numeral (#). Los interruptores se encuentran organizados en una matriz, cada uno selecciona el tono del grupo bajo de su fila respectiva y el tono del grupo alto de su columna correspondiente.

El esquema de codificación DTMF asegura que cada señal contienen uno y solo un componente de cada uno de los grupos de tonos alto y bajo. Esto simplifica de manera significativa la decodificación por que la señal compuesta DTMF puede ser separada con filtros pasa banda en sus dos componentes de frecuencia simples cada uno de los cuales puede ser manipulado de forma individual.

Las teclas de función A, B, C y D son extensiones de las teclas (0-9, *, #) y fueron diseñadas con los teléfonos militares norteamericanos Autovon. Los nombres originales de estas teclas fueron FO (Flash Override), F (Flash), I (Immediate) y P (Priority) los cuales representaban niveles de prioridad y que podían establecer comunicación telefónica con varios grados de prioridad, eliminando otras conversaciones en la red si era necesario, con la función FO siendo la de mayor prioridad hasta P la de menor prioridad. Estos tonos son más comúnmente referidos como A, B, C y D respectivamente, todos ellos tienen en común 1633 Hz como su tono alto. En estos días, estas teclas de función son empleados principalmente en aplicaciones especiales tales como repetidores de radioaficionados para sus protocolos de comunicación, los módem y circuitos de tonos al tacto (touch tone) también tienen tendencia a incluir los pares de tonos A, B, C, y D. Estos no han sido usados para el servicio público en general, y podría tomar años antes de que pudieran ser incluidas en aplicaciones tales como líneas de información al cliente.

Codificación DTMF

El esquema de marcado DTMF fue diseñado por los laboratorios BELL e introducido a los Estados Unidos a mediados de los años 60 como una alternativa para a la marcación por pulsos o rotatoria. Ofreciendo incremento en la velocidad de marcado, mejorando la fiabilidad y la conveniencia de señalización de punto a punto.

Muchas aplicaciones en las telecomunicaciones requieren de transmisión de señales DTMF para el envío de datos y marcado. El estándar DTMF fue diseñado originalmente por los Laboratorios Bell para su uso en los sistemas telefónicos de AT&T.

Existen varias especificaciones que han sido resultado de el estándar original las cuales parten de los estándares de AT&T, CEPT, NTT, CCITT y la ITU, etc. Las variaciones de un estándar a otro son típicamente tolerancias en las desviaciones de frecuencia, niveles de energía, diferencia de atenuación entre dos tonos e inmunidad al habla.

Tabla 3.2 Pares de frecuencias empleadas para la generación DTMF

Fbaja (Hz)	Falta(Hz)	DIGITO
697	1209	1
697	1336	2
697	1477	3
770	1209	4
770	1336	5
770	1477	6
852	1209	7
852	1336	8
852	1477	9
941	1336	0
941	1209	*
941	1477	#
697	1633	A
770	1633	B
852	1633	C
941	1633	D

Los estándares CCITT se encuentran localizados en las recomendaciones Q.23 y Q.24 en la sección 4.3 del libro rojo de la CCITT, volumen VI, fascículo VI.1.

El sistema de señales DTMF son generadas por un codificador, y son la suma algebraica en tiempo real de dos tonos; uno de baja frecuencia y otro de alta, el tono alto normalmente es de + 1.5 % (2db) con respecto del tono bajo para compensar perdidas de señal en las largas líneas de conexión con la central telefónica.

En conclusión, DTMF es el sistema de señales usado en los teléfonos para el marcado por tonos, estos son el resultado de la suma algebraica en tiempo real de dos senoides de diferentes frecuencias, la relación de teclas con su correspondiente par de frecuencias se muestran en la tabla anterior.

3.3 Descripción de los principios electrónicos relacionados con la solución del problema.

a. Tipos de modulación

Modulación Analógica

➤ Modulación en amplitud (AM):

En este tipo de modulación la señal (moduladora) será modificada en su amplitud, la frecuencia se mantiene constante (aproximadamente).

○ Modulación con portadora suprimida (AM DSB-SC)

Esta forma de modulación es la más barata con la desventaja de ser muy susceptible al ruido.

La modulación en amplitud consiste en la multiplicación de una señal portadora ($\cos w_c t$) con una señal moduladora ($f(t)$), produciendo la señal modulada ($\phi(t)$):

$$\phi(t) = f(t) * \cos w_c t$$

La figura 3.2 muestra la forma de modular una señal en amplitud.

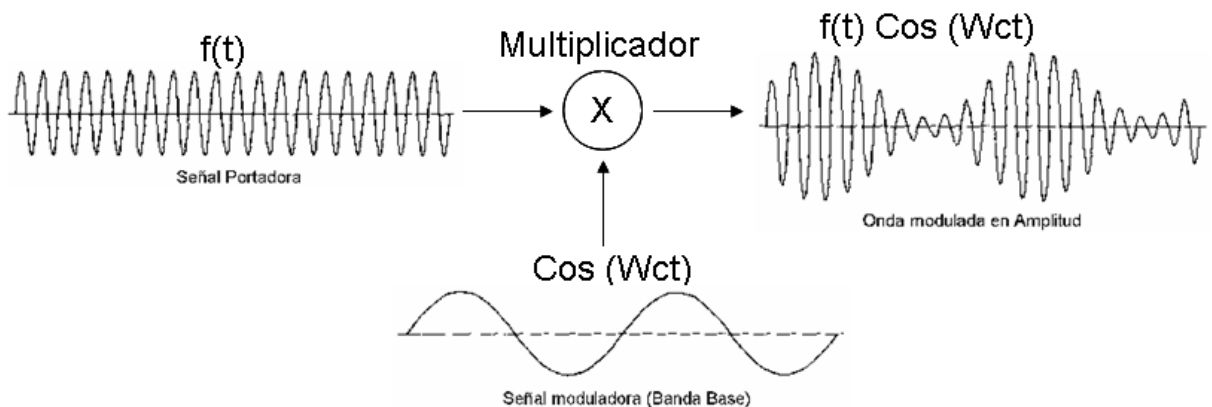


Figura 3.2 Sistema de transmisión de amplitud modulada.[8]

La figura anterior, muestra como la señal modulada describe la silueta de la señal original. Esta silueta conocida como envolvente es de mucha importancia la demodular la señal.

Aplicando la transformada de Fourier a la ecuación anterior se obtiene la densidad espectral de $\phi(t)$:

$$\Phi(w) = \frac{1}{2} F(w + w_c) + \frac{1}{2} F(w - w_c)$$

Esta ecuación muestra como el espectro de frecuencia se traslada $\pm w_c$ rad/s. Este tipo de modulación se conoce como de portadora suprimida (DSB-SC).

La recuperación de la señal original, requiere otra traslación de frecuencia. Este proceso se conoce como demodulación, y se realiza para desplazar el espectro a su posición original. Para esta traslación se multiplica con la misma señal portadora.

$$\phi(t) * \cos w_c t = f(t) \cos^2 w_c t = \frac{1}{2} f(t) + \frac{1}{2} f(t) \cos(2w_c t)$$

Finalmente la recuperación completa requiere el filtrado de la componente de alta frecuencia, para obtener la señal original disminuida a la mitad en amplitud.

- **Modulación de banda lateral residual (AM VSB)**

Este tipo de modulación es la utilizada por los moduladores de CATV (televisión paga). En está se transmite una banda lateral (disminuye el ancho de banda), con la posibilidad de transmitir una gran portadora, con el fin de recobrar la señal con detector de envolvente. En todo caso puede recuperar la señal original con un detector sincrónico.

➤ **Modulación de frecuencia (FM):**

En este tipo de modulación la señal (moduladora) será modificada en su frecuencia, la amplitud permanece normalmente constante. La figura 3.3 muestra la forma de modular una señal en amplitud.

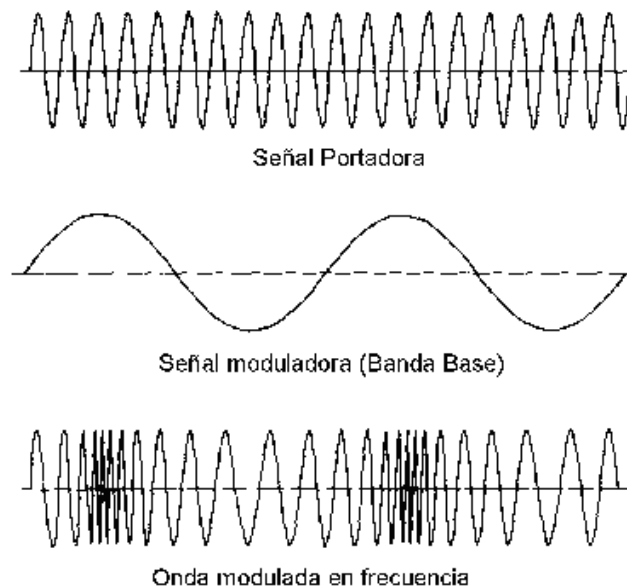


Figura 3.3 Señales de un sistema de modulación en frecuencia.[8]

Como se pudo observar en la figura anterior, cuando existe un pulso de la señal original, la señal modulada se verá incrementada en frecuencia y reducida cuando el pulso sea menor.

Esta modulación es muy utilizada, por la alta calidad que presenta y fácil transmisión.

Modulación Digital

➤ Conmutación de amplitud (ASK):

La modulación por corrimiento en la amplitud ASK (Amplitude Shift Keying), es una forma de modulación donde la amplitud de la señal está dada por la ecuación:

$$\varphi(t) = A \cos w_c t \quad \text{para } 0 < t < T \text{ (equivale a uno binario)}$$

$$\varphi(t) = 0 \quad \text{en otro caso (equivale a cero binario)}$$

La señal modulada en amplitud resultante consta de pulsos, que representan unos binarios, y espacios que representan ceros binarios. Como en AM, el ancho de banda base se duplica en ASK y es muy susceptible al ruido. La figura 3.4 ilustra este tipo de modulación.

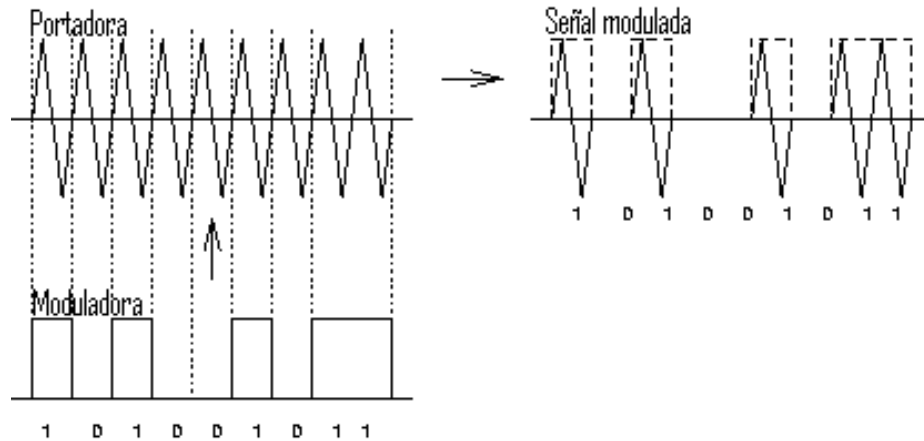


Figura 3.4 Señales de una modulación ASK.[8]

➤ Conmutación de frecuencia (FSK):

Existen dos tipos de modulación FSK: FSK Coherente y FSK No Coherente. La FSK coherente es cuando se mantiene la fase de la señal, caso contrario en la no coherente. La razón de una modulación FSK no coherente ocurre cuando se emplean osciladores independientes para la generación de las distintas frecuencias.

Este tipo de modulación consiste en asignar una frecuencia diferente a cada estado significativo de la señal de datos, como lo ilustra la figura 3.5.

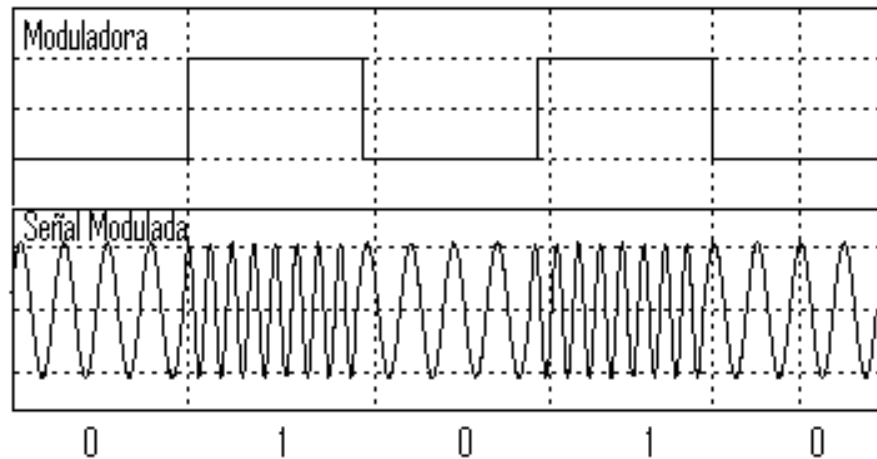


Figura 3.5 Señales de una modulación FSK.[8]

La frecuencia instantánea de la señal portadora varía entre dos o más valores en respuesta a la señal binaria. Es decir para transmitir cualquiera de los símbolos binarios, se elige entre dos señales, por ejemplo:

$$\varphi(t) = A \cos m\omega_c t \text{ para uno binario}$$

$$\varphi(t) = A \cos n\omega_c t \text{ para cero binario}$$

➤ **Conmutación de fase (PSK):**

La modulación por conmutación de fase consiste en asignar variaciones de fase de una portadora según los estados significativos de la señal de datos, de la forma ilustrada en la figura a continuación.

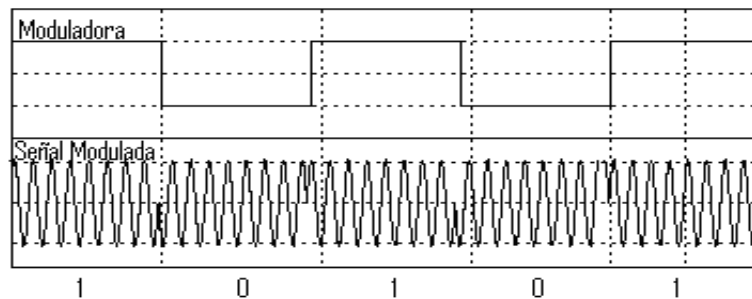


Figura 3.6 Señales de una modulación PSK.[8]

Existen dos tipos de modulación de fase: modulación PSK y DPSK (Diferencial PSK). La modulación PSK consiste en cada estado de modulación está dado por la fase que lleva la señal respecto de la original. En la modulación DPSK cada estado de modulación es codificado por un salto respecto a la fase que tenía la señal anterior. Empleando este sistema se garantizan las transiciones o cambios de fase en cada bit, lo que facilita la sincronización del reloj en recepción.

La fase de la señal se conmuta entre dos o más valores en respuesta al código binario. Un desplazamiento de 180 grados es una elección que simplifica el diseño del modulador. Se conoce como conmutación por inversión de fase (PRK, phase reversal keying). Un ejemplo de una señal PRK se escribe como:

$$\varphi(t) = A \cos w_c t \text{ para uno binario}$$

$$\varphi(t) = -A \cos w_c t \text{ para cero binario}$$

Capítulo 4: Procedimiento Metodológico

4.1 Reconocimiento y definición del problema

En el reconocimiento y definición del problema, la principal actividad realizada la constituyeron las entrevistas. Se efectuaron varias visitas a la empresa, donde se tuvo la oportunidad de conversar con el dueño y el ingeniero a cargo. A partir de las entrevistas se pudo establecer cual es el marco que genera la problemática que pretende atacar el presente proyecto.

4.2 Obtención y análisis de información

El proyecto cuenta con la mejor disposición de los diferentes sectores de la empresa, por lo que mucha información se obtuvo por medio de entrevistas con el personal, de las diferentes áreas.

La evaluación de las diferentes tecnologías se realizó con el uso de Internet, consultas bibliográficas, así como con el contacto a proveedores, para la facilitación de manuales y hojas de datos de los equipos, aprovechando la buena relación con esta empresa.

Esta valoración contempló no solo características técnicas o de desempeño, también se evaluaron costos, compatibilidad, y disponibilidad de los equipos con el fin de poder realizar pruebas de campo para una mejor apreciación.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

La investigación bibliográfica y la consulta a expertos en los diferentes sectores producen distintas alternativas para resolver el problema descrito, debido a que se debían definir la forma de transmisión y recepción. Los requerimientos del proyecto constituyen el principal parámetro en la evaluación de las alternativas de solución.

El proyecto está destinado en gran parte al desarrollo de la investigación para establecer las características y modos de transmisión, y las tecnologías apropiadas. Por consiguiente, la elección de la solución consideró los resultados de las sugerencias de los asesores, investigación bibliográfica, la realización de estimaciones a partir de cálculos teóricos, pruebas de medición, disposición de equipos y análisis de costos.

4.4 Implementación de la solución

El proyecto pretende la realización de un prototipo funcional, que contará con un módulo administrativo y un módulo de filtrado, para la comprobación del protocolo de comunicación.

El proceso de diseño consta de etapas de investigación, análisis y pruebas. Una vez que se obtuvo la síntesis de una solución fue necesario tomar en cuenta aspectos de reevaluación y rediseño.

El medio de difusión es la documentación final que solicita la empresa, donde se indicaran los resultados obtenidos, restricciones y recomendaciones. Por constituir una sección del proyecto total se debe presentar este informe final como documentación para la empresa. Además se efectuaran conferencias dirigidas a lo interno de ésta. Esto último, muy importante para la entidad pues estos medios constituirán la base en el desarrollo del sistema de administración completo.

4.5 Reevaluación y rediseño

Con el avance tecnológico es muy posible que para el término de la investigación existan nuevas tecnologías, por lo que se recomienda evaluarlas, para así determinar mejoras al diseño propuesto en este proyecto. Sin embargo es normal que los fabricantes produzcan dispositivos compatibles con versiones anteriores, por lo que un nuevo estudio no sería necesario, bastaría con una reevaluación de la información enmarcada en las nuevas características de los componentes. Además el diseño contemplo la definición de capas para su implementación con la intención de ser independiente de tecnología.

Capítulo 5: Descripción detallada de la solución

5.1 Descripción de las capas de la red

La definición de las capas utilizó el modelo de referencia OSI, sin embargo únicamente las primeras cuatro capas fueron necesarias en este diseño.

Un punto importante del proyecto consistía en modificar lo menos posible la red de cable actual, este y otros requerimientos fueron considerados en las capas descritas a continuación.

5.1.1 Capa física

El medio físico de transmisión lo constituye la red híbrida de Fibra Óptica y Cable Coaxial (HFC). Ésta instalada y en funcionamiento en la empresa.

Los datos serán constituidos por códigos DTMF, utilizados en telefonía, y en el caso de televisión paga, para la inserción de comerciales locales. Es por esto que se mantiene los criterios del Standard ANSI de telefonía [14]. Entre los más importantes podemos citar:

1. Duración del tono de al menos 50ms
2. Intervalo mínimo entre dígitos 45ms

Se utiliza modulación analógica, de forma más precisa FM con la portadora a una frecuencia de 59.75 MHz. En las redes CATV, es la frecuencia de la portadora del audio del canal 2. Los códigos DTMF se encuentran en el rango de frecuencias de audio, por lo que podrán ser transmitidos por la entrada de audio del modulador de la empresa.

La generación de estos códigos se realiza por medio del programa de alto nivel en la computadora, y se utiliza una salida de la tarjeta de sonido para enviar estos tonos hacia la red. Estos códigos son almacenados como clips de audio en la PC, con el fin de ser reproducidos por el programa de acuerdo a las especificaciones de la capa de enlace de datos.

5.1.2 Capa de enlace de datos

Esta capa ofrece un servicio no orientado a conexión sin confirmación de recepción, por contar con comunicación simplex.

El formato de la trama se observa en la siguiente figura:

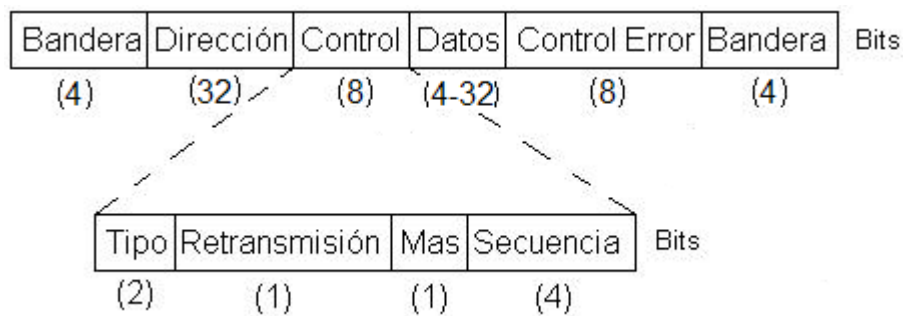


Figura 5.1 Formato de la trama de datos.

Para el entramado se utilizó 4 bits como bandera de inicio y de fin, y otro como código de escape. La bandera fue constituida por un 6 binario (0110) y el código de escape fue un 9 binario (1001). El concepto es similar a la técnica de relleno de caracteres pero realizando un relleno de nibbles³, en lugar de utilizar un byte. A continuación se ilustra.

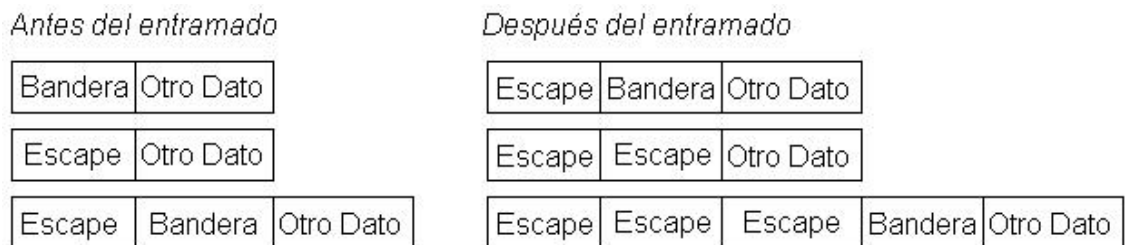


Figura 5.2 Entramado de los datos mediante la técnica de relleno de nibbles.

La dirección es constituida por 32 bits, cantidad suficiente para direccionar una cantidad de clientes en constante ascenso.

La sección de control es constituida por 8 bits. El Tipo fue definido para facilitar la recepción e identificación de datos e instrucciones, y se permite la inclusión de 2 tipos adicionales, al no ser definidas en este proyecto. El bit de Retransmisión indica si existe un reenvío de la trama. El bit Mas revela si la trama recibida fue la última de la instrucción o dato en proceso. Por último la Secuencia indica el número de la trama para su correcta reconstrucción en la recepción.

La forma en que se estableció se observa en la siguiente figura:

³ Grupo de 4 bits, similar a un byte (8 bits).

• Tipo (2 bits)	}	00	:Dato
		01	:Instrucción
		10	:Sin definir
		11	:Sin definir
• Retransmisión (1 bit)	}	0	:Sin retransmisión
		1	:Con retransmisión
• Mas (1 bit)	}	0	:Última trama
		1	:Faltan Tramas
• Secuencia (4 bits)	}	0000	:Trama #0
		0001	:Trama #1
		...	
		1111	:Trama #15

Figura 5.3 Descripción de la sección de control de las tramas.

Al utilizar un medio confiable como lo es una red de cable para el control de errores se utiliza una suma de verificación de código polinomial o código de redundancia cíclica (CRC). Además el receptor establece tiempos máximos de retardo entre código y código, por lo se discriminan tramas incompletas.

La regulación del flujo de los datos es temporizada, los datos son enviados en intervalos de tiempo establecidos a la capa física, con el fin de no saturar al receptor. Esto último es importante para facilitar la independencia de la tecnología utilizada en la capa física.

Finalmente para mejorar la calidad del servicio, se realiza un almacenamiento en búfer en lado del receptor antes de procesar la información. Esta acción no afecta la confiabilidad o el ancho de banda, pero incrementa el retardo, sin embargo atenúa la fluctuación, debido a que la trama es procesada hasta que esta completa.

5.1.3 Capa de red

En esta capa se implementa un servicio no orientado a la conexión, puesto que no establece una comunicación directa con cada usuario en cada módulo de filtrado, al contar con un único canal y además de ser una red con comunicación simplex.

Por último para optimizar el sistema se puede establecer un enrutamiento multidestino, dentro de un mismo módulo de filtrado, es decir, se pueden direccionar varios o todos los usuarios de éste al mismo tiempo, con el fin de establecer los estados de cada cliente.

5.1.4 Capa de transporte

Esta capa realiza la interfaz con el programa de alto nivel, y por ende con el usuario. Entre sus obligaciones están:

1. Verificar la dirección.
2. Limitar el dato máximo.

No se implementó un control de flujo, puesto que la comunicación es simplex.

5.2 Aspectos de hardware

5.2.1 Módulo administrativo

El módulo administrativo se implementó mediante software, y para su incorporación en la red se utilizaron los equipos de Cable Caribe S.A. La siguiente figura muestra un diagrama general para la transmisión de la señal de control.

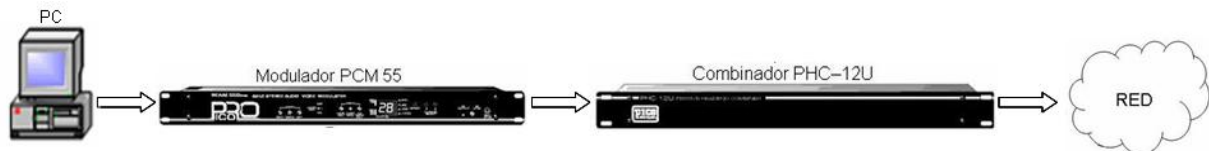


Figura 5.4 Diagrama de conexión del módulo administrador.

La señal es transmitida por la salida de audio de la tarjeta de sonido de la PC, y es conectada a una entrada de audio del modulador del canal 2. La razón de utilizar la salida de audio del computador, es para que se acople a la entrada del modulador, ya que son salidas y entradas con impedancias estandarizadas en 600Ω. Luego se transmite al combinador para su incorporación a la red.

5.2.2 Módulo de filtrado

La comprobación del protocolo involucró el diseño del circuito decodificador y de procesamiento en el módulo de filtrado, así como un demodulador PFAD 900css de PICO Macon Inc., ajustado a canal 2, para la obtención del audio. La figura 5.5 ilustra el diagrama de conexión de los diferentes componentes.

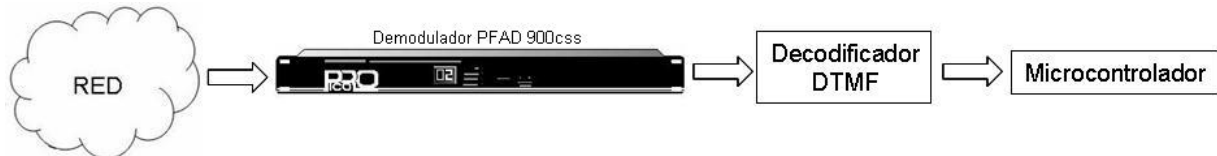


Figura 5.5 Diagrama de conexión del módulo de filtrado.

La decodificación de los tonos es realizada por el receptor DTMF MT8870DE de Mitel, la tabla 5.1 muestra la representación binaria de los códigos.

Tabla 5.1 Representación binaria de los códigos DTMF del integrado MT8870DE⁴

Código DTMF	Representación en bits
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001
0	1010
*	1011
#	1100
A	1101
B	1110
C	1111
D	0000

La figura a continuación ilustra el circuito de recepción y decodificación de los códigos DTMF. Los valores de resistencias, condensadores y del cristal son recomendaciones del fabricante del integrado, obtenidas de las hojas de datos del mismo.

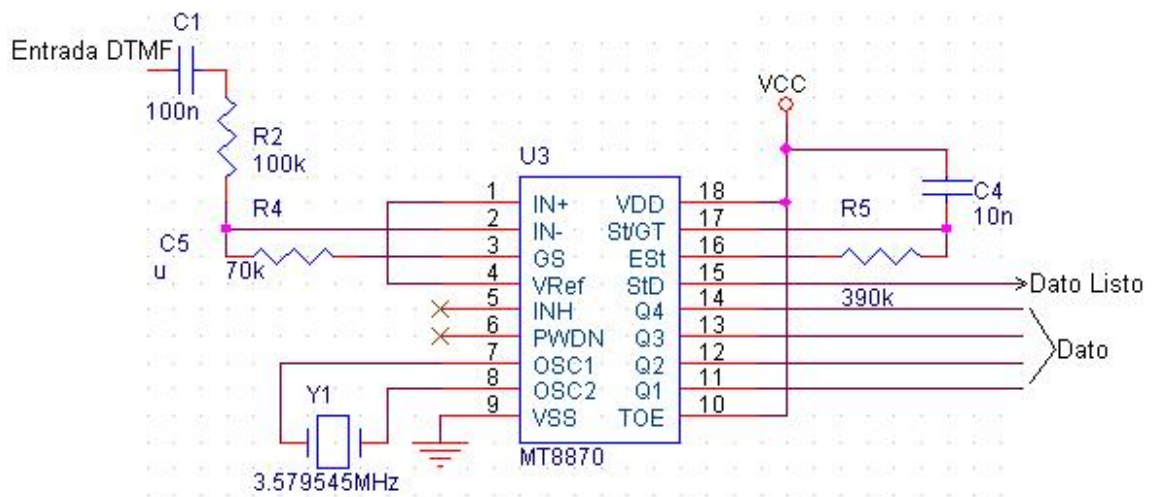


Figura 5.6 Circuito decodificador DTMF.

⁴ Tomado de las hojas de datos del dispositivo

Es importante mencionar que los códigos DTMF fueron creados con pares de frecuencias cuidadosamente seleccionadas, por lo que su combinación con el audio propio del canal, no produce alteración alguna en los tonos.

Aparte de la representación binaria que posee y fácil implementación, el dispositivo de decodificación dispone de la señal de StD (dato listo), que se activa por un intervalo de tiempo, cuando el tono detectado esta disponible en la salida. Estas características y la abundante bibliografía obtenida fueron criterios importantes en la selección de este receptor DTMF. También el costo de este decodificador fue de \$5.60, valor accesible para las pruebas del protocolo.

El esquemático siguiente muestra la conexión entre el decodificador DTMF y el microcontrolador.

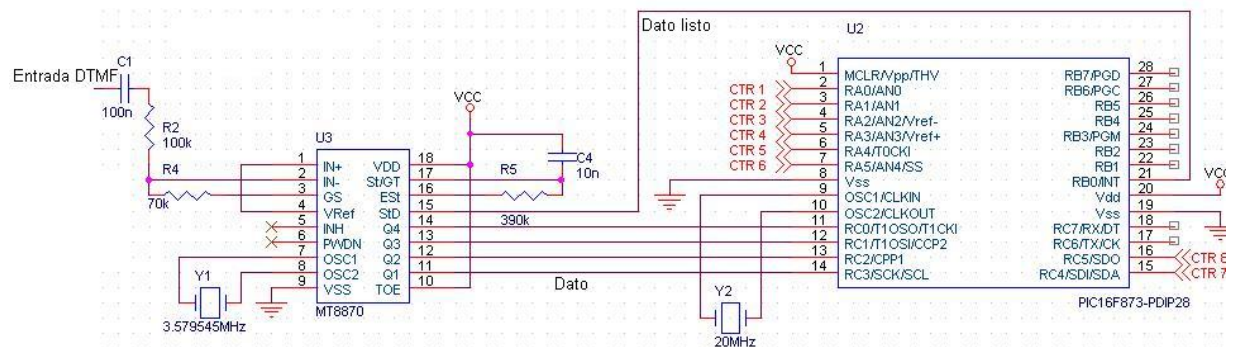


Figura 5.7 Conexión del decodificador DTMF con el microcontrolador PIC16F873A.

La lectura de estos datos es realizada por un microcontrolador PIC16F873A de Microchip, que realiza el procesamiento de los mismos. La señal de StD (pin 15 del MT8870DE) se conecta a la entrada de interrupción externa del microcontrolador (pin 21), de esta forma cada código recibe es leído por el microcontrolador, mientras que este pueda seguir ejecutando sus otras operaciones.

El procesamiento de los datos en el microcontrolador, implica las tres capas restantes (enlace de datos, red y transporte), donde se involucra almacenamiento en buffer, cálculos del código polinomial, lectura y ejecución de instrucciones y además del almacenamiento de datos importantes. Por esto se escogió el microcontrolador de 8 bits PIC16F873A, que entre sus características más importantes podemos citar [9]: memoria de programa de 8k * 14 palabras, 368 * 8 bytes de memoria de datos (RAM) y una memoria EEPROM de 256*8 bytes (tomados de la hoja de datos de fabricante). Además de ser un microcontrolador muy utilizado y documentado, es de bajo costo (\$4.90), y sus herramientas de programación y desarrollo también son accesibles (\$52.90 aproximadamente). Estas características garantizan la posibilidad de almacenar los estados de los usuarios en el módulo de filtrado en la EEPROM con el fin de no perder estos aún con fallas de alimentación u otros, además se puede implementar la recepción en buffer (RAM) para la cantidad de bytes especificado, sin perjudicar el procesamiento posterior.

5.3 Aspectos de software

5.3.1 Direccionamiento

La forma de direccionamiento es similar al direccionamiento IP, no obstante las direcciones no son dinámicas puesto que no se pueden asignar en tiempo de ejecución, ya que no hay retorno (comunicación simplex).

Cada usuario tiene una única dirección de 32 bits de longitud, que se utiliza en el campo de dirección de la trama de datos y una máscara de red de 32 bits propia, para obtener el número del módulo. Todos los usuarios de un módulo de filtrado deben tener el mismo número de módulo. Este se obtiene realizando la operación AND entre la dirección del usuario y la máscara de red, tal y como se hace en direccionamiento IP. Por ejemplo⁵:

Dirección de usuario: ABCD1234

Máscara de red: FFFFFFFF0

Dirección de módulo: (ABCD1234 & FFFFFFFF0) = ABCD1230

Por medio de la máscara de red se pueden establecer la cantidad de usuarios por módulo, en el ejemplo anterior se puede observar que el último nibble es cero, por lo que pueden tener 16 usuarios. Es decir entre menor la máscara de red, mayor cantidad de usuarios. Además con la dirección del módulo se pueden establecer instrucciones para todos los usuarios (direccionamiento multidestino).

5.3.2 Instrucciones implementadas

Para poder comprobar el protocolo se establecieron instrucciones. Estas se diferenciaron en simples y compuestas. La simple realizaba una única acción, mientras la compuesta establecía la realización de múltiples comandos. A continuación se presentan el juego de instrucciones implementado. Todas las instrucciones son de 16 bits.

Instrucciones simples:

- **Inst_ResetEstados (FF):** es un reset que establece los estados de cada usuario en 00, que es el estado por defecto.
- **Inst_ObtenerEstados (FD):** esta instrucción fue implementada para que el receptor envíe los estados de los usuarios al puerto serie de una PC, para visualizarlos.
- **Inst_DesactivarRetransmision (12):** le indica al receptor que no se retransmitirán las tramas.
- **Inst_ActivarRetransmision (11):** realiza la operación inversa de la instrucción anterior.

⁵ Los datos son representados en código hexadecimal.

- **Inst_ObtenerEstado (10):** este comando le indica al receptor que envíe el estado del usuario direccionado hacia el puerto serie.
- **Inst_EstablecerEstado (00 a 0F)⁶:** esta instrucción establece el dato enviado como estado. Estos estados pueden ser activo, desactivo, filtrado 1, etc. Esto según sea definido por el administrador.

Instrucciones compuestas:

- **Inst_EstablecerEstados (FE):** esta instrucción establece estados de los usuarios de un módulo, primero se envía el comando en una trama, y los estados en las siguientes, en orden respectivo (al primer usuario le corresponde el nibble de datos).

5.3.3 Descripción del software de la PC

La descripción del software de la PC consiste en la descripción del módulo administrativo, puesto que este se implementó totalmente en una aplicación.

La primera etapa consistió en diseñar una base de datos que simulara la de Cable Caribe S.A. Esto por dos razones, la primera fue que la empresa se encontraba en la transición de archivos a base de datos con la adquisición de un nuevo programa de administración, y segundo, las pruebas debían alterar los datos de los clientes y equipos frecuentemente, por esto se diseñaron tres tablas, sus atributos y correlación se muestra en la figura:

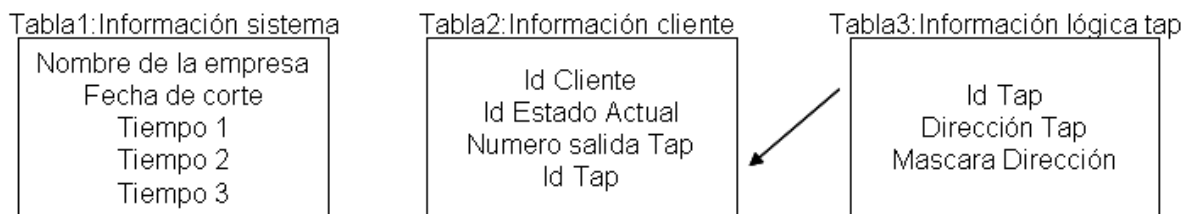


Figura 5.8 Atributos y correlación de las tablas de datos.

Las tablas fueron realizadas en la base de datos MySQL [10], luego se introdujeron algunos clientes y sus datos respectivos, con el fin de realizar las consultas a la base de datos.

La programación en alto nivel se realizó en el lenguaje Java [11], se escogió este lenguaje puesto que se obtiene de forma gratuita, situación muy importante para esta solución de bajo costo, además de ser un lenguaje orientado a objetos, por lo que la capas se podían definir como objetos, con sus respectivos atributos y métodos, para interactuar unas con otras (interfaz entre capas). Finalmente el lenguaje es independiente de plataforma, muy utilizado y bien documentado.

El primer consistió en definir la capa física. Por medio de un paquete de este lenguaje llamado Java Media Framework, se pueden reproducir clips de audio en

⁶ Los estados de los usuarios van de 00 a 0F.

casi todos los formatos. Los tonos DTMF fueron obtenidos descargándolos de Internet en formato wav [12]. Ya resuelta la reproducción, se creó un formato de ejecución, de la siguiente manera.

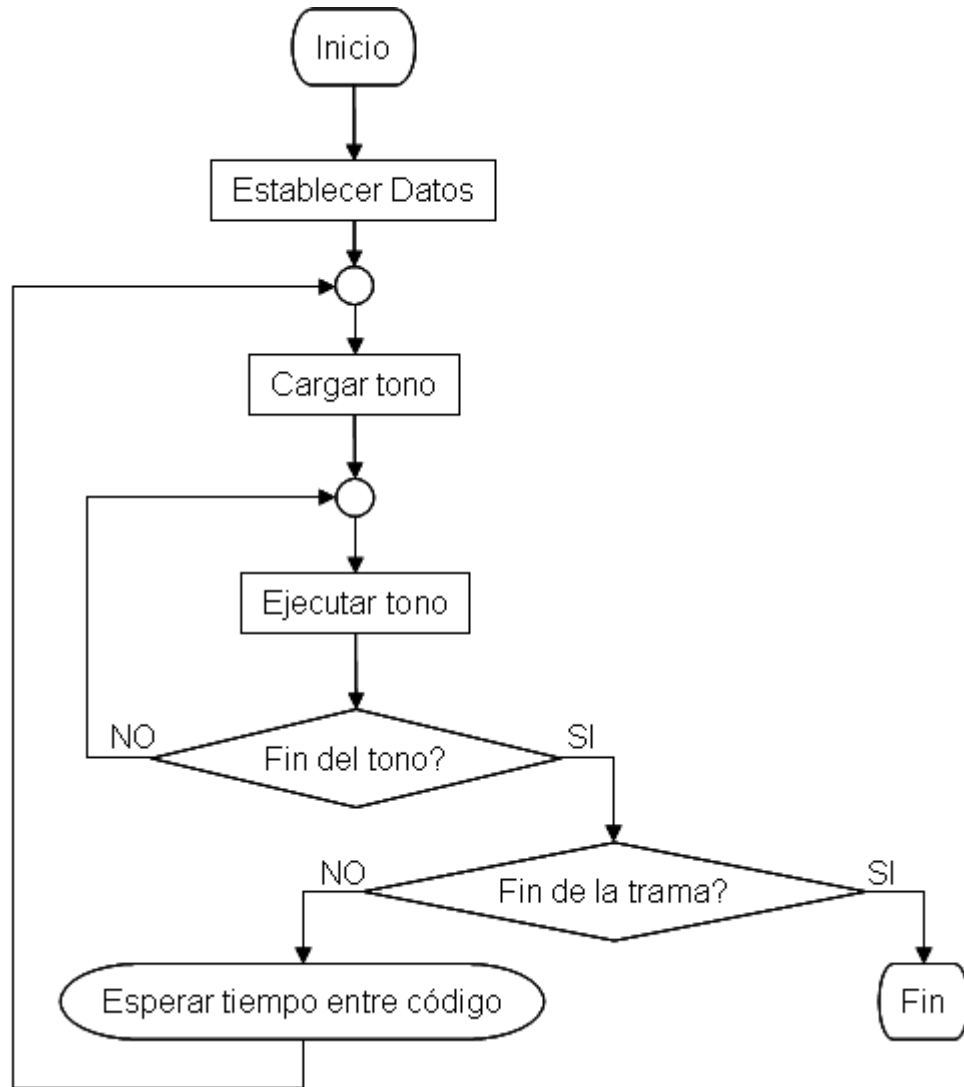


Figura 5.9 Diagrama de reproducción de los tonos DTMF

Primero se establecen los datos, la trama es representada como una cadena de caracteres (string). Esta cadena constituida con caracteres representando códigos hexadecimales. Luego se carga el tono en memoria para ser reproducido. Para cumplir con el estándar ANSI de telefonía, el método espera 50ms (tiempo entre código) para enviar el siguiente, hasta que se finaliza la trama.

La capa de enlace de datos recibe los datos y dirección de la capa de red en series de paquetes. Esta capa debe calcular el valor del código polinomial de cada paquete y realizar el entramado, así como establecer los bits de control y de secuencia. Una vez calculado y establecido lo anterior, se conforman las tramas, de acuerdo al formato descrito en la capa de enlace de datos (sección 5.1.2).

Finalmente se envían las tramas esperando un tiempo entre trama mayor a 250 μ s, tiempo que aproximadamente dura el microcontrolador en validar la trama. Esto último no muy significativo puesto que entre cada tono existe un tiempo de 50 ms, y que la siguiente trama sería procesada hasta que llegue completa (tiempo mayor a 1s). La figura 5.10 ilustra el proceso:

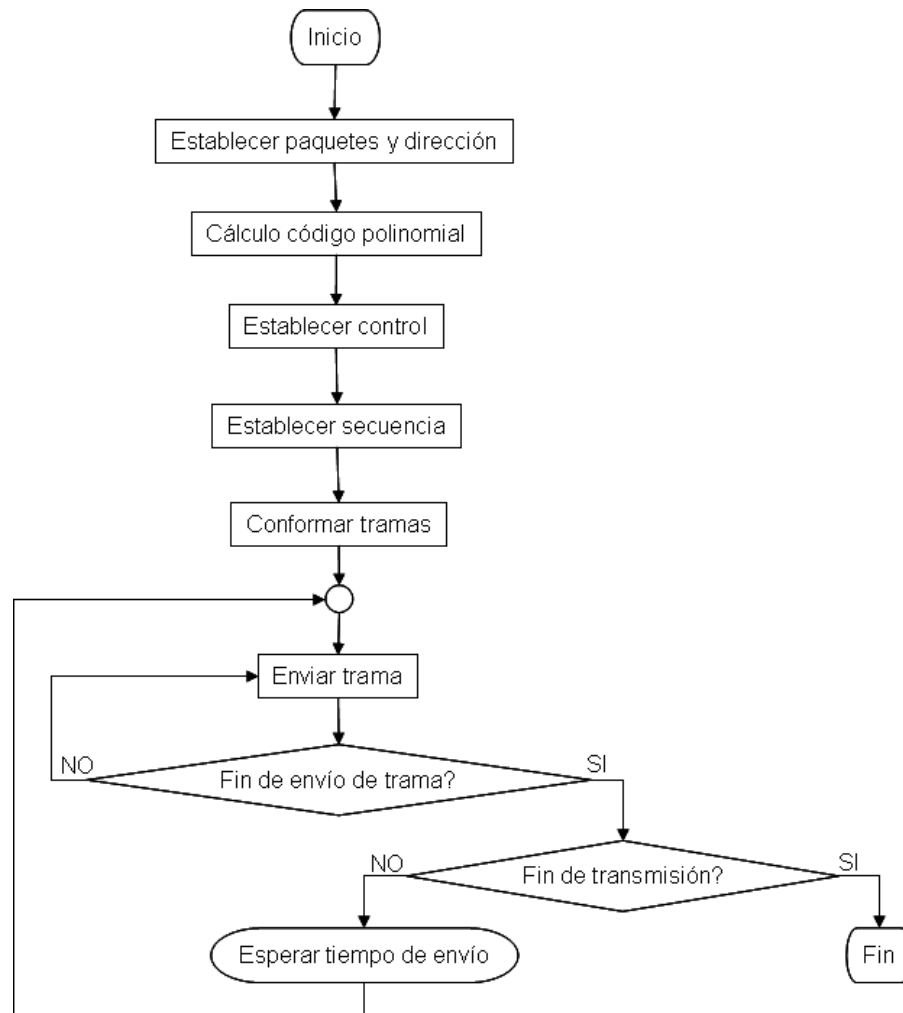


Figura 5.10 Diagrama de ejecución de la capa de enlace de datos

La capa de red se encarga de convertir los datos en paquetes para su transmisión, esta capa divide los paquetes de acuerdo a una longitud máxima de dato por trama establecida. Si los datos son mayores se dividen en segmentos o paquetes de longitud menor o igual al valor señalado.

La implementación de la capa de transporte verifica la consistencia de la dirección, la longitud del dato máxima, y por último devuelve el estado de la transmisión. Es el enlace directo con el administrador, puesto que si un dato no es transmitido correctamente, el valor devuelto podría ser interpretado para conocer la capa en que ocurrió la falla. La siguiente tabla muestra los diferentes códigos de envío.

Tabla 5.1 Significado de los códigos de envío

Código de envío	Capa / Estado
0	Transporte
1	Envío correcto
2	Red
3	Enlace de datos
4	Física

Finalmente para la prueba del protocolo se diseñó una interfaz para la verificación de distintas características. Esta muestra es la única visible debido a que la aplicación no necesitaba una interacción con el administrador, ya que se estableció una comunicación directa con la base datos para así actualizar los estados periódicamente. La figura 5.11 muestra la pantalla principal del programa de pruebas.

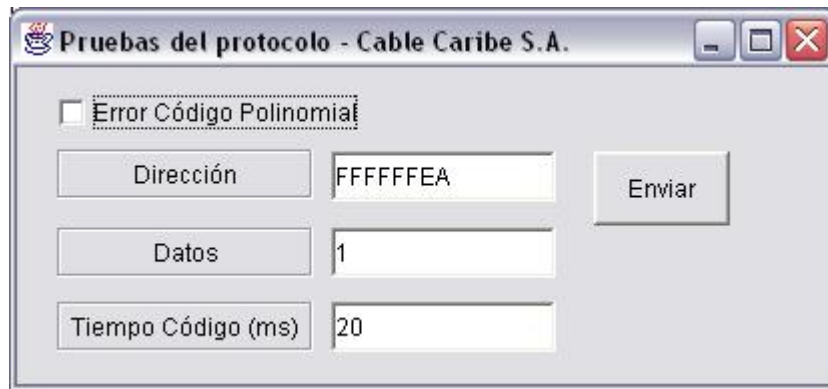


Figura 5.11 Pantalla principal del programa de pruebas del protocolo

En este se pueden generar valores del código polinomial erróneos, variaciones en los tiempos entre códigos y la comprobación se puede obtener capturando la salida de datos del programa. Los errores en el código polinomial se realizan utilizando un número diferente al establecido (para las pruebas se estableció como generador el número 19) y los tiempos se variaban para probar el cumplimiento de los tiempos máximos y mínimos en el receptor.

La siguiente figura muestra un ejemplo donde se observa la fecha y hora, la trama enviada, la cantidad de códigos de la trama, el cálculo teórico y real de envío, y finalmente el código de envío.

```
09/07/2005 <-> 18:44:32
6FFFFFFEA001016
15
Tiempo de Envio Teórico: 2.0s
Tiempo de envio Real: 1.609s
Código de envío: 1
```

Figura 5.12 Pantalla de captura de salida de datos

5.3.4 Descripción del software del microcontrolador

Una vez implementado el hardware, se diseñaron las diferentes rutinas para el reensamble, decodificación y validación de las instrucciones y datos.

Para mejorar la calidad del servicio, se implemento un buffer de 32 bytes, que cubre la longitud máxima de una trama de datos. Esta longitud es calculada para cuando existan la mayor cantidad de tonos de escape (entramado). La figura 5.13 muestra el diagrama de flujo para el control del flujo de paquetes.

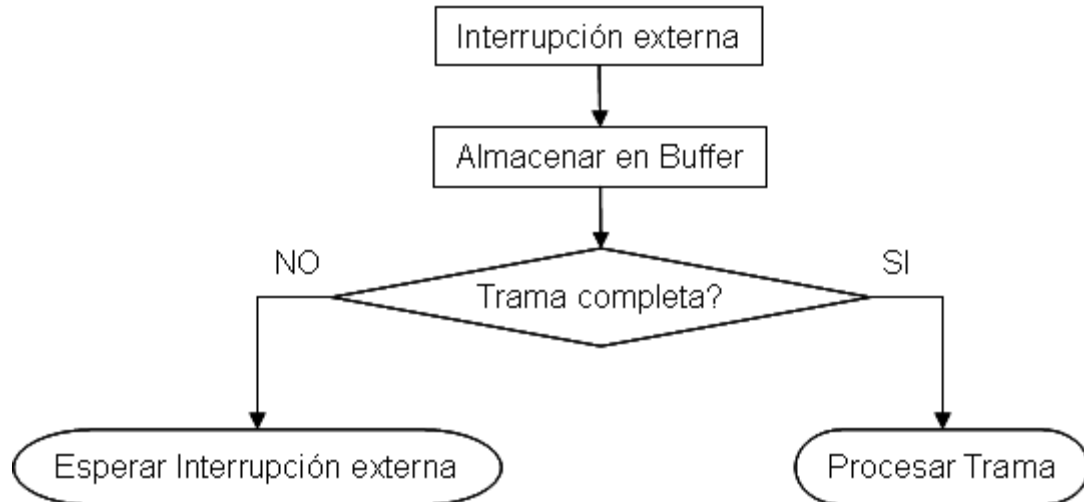


Figura 5.13 Diagrama del control de flujo de los datos.

La interrupción externa mostrada en la figura anterior, es producida por la salida StD del receptor DTMF, cuando existe un tono nuevo. Como se observa el procesamiento de una trama ocurre hasta que la trama llega en su totalidad, por eso se establecieron tiempos máximos para la llegada de un nuevo dato. Esta acción es necesaria por la posibilidad de que los tonos se pierdan, ya sea por un corte de línea, fallas en la alimentación u otras circunstancias. De esta manera se pueden desechar tramas incompletas. A continuación se presenta un diagrama de flujo ilustrando este control.

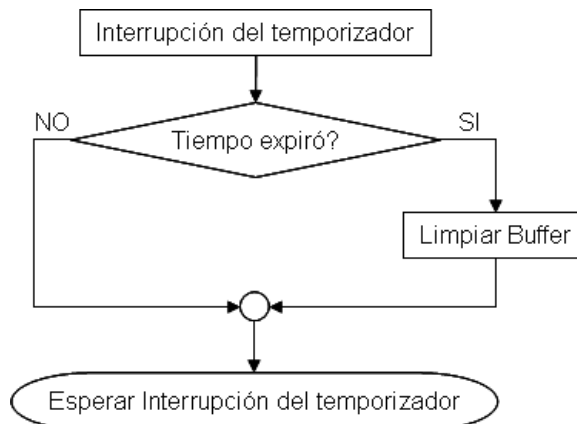


Figura 5.14 Diagrama del control de tiempo de llegada de los datos.

Una vez obtenida la trama completa, se realiza el procesamiento donde se valida la dirección y el dato, para luego ser enviado a la capa de red. El diagrama de la figura 5.15 indica la secuencia de verificación.

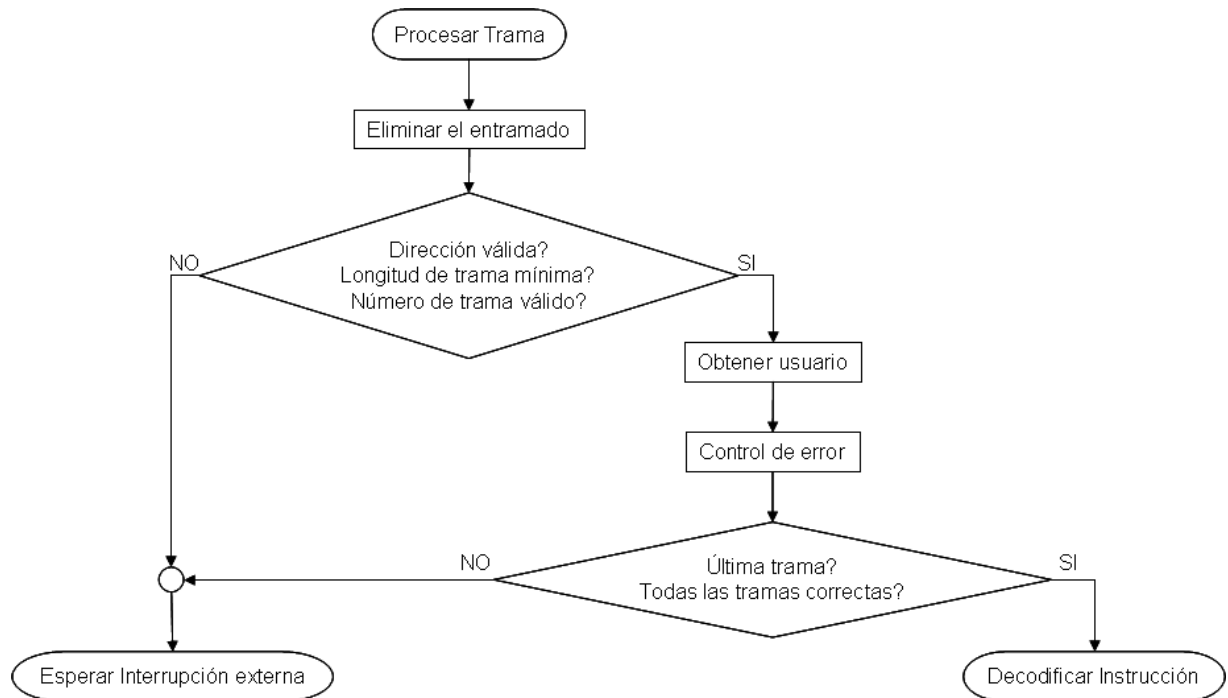


Figura 5.15 Diagrama de la verificación de la trama.

El procesamiento inicia al eliminar el entramado, es decir, al descartar los códigos de escape. Luego se verifica la dirección, la consistencia de la trama, puesto que para que una trama sea válida debe poseer un mínimo de tonos, y luego se garantiza que el número de trama no sobrepase la capacidad del receptor (RAM), en este caso, el receptor soporta más de 10 tramas por instrucción, pero se estableció un máximo de 5 tramas, con las que se pueden actualizar el estado de 32 usuarios por módulo, un número mucho mayor que el solicitado como mínimo (4 usuarios) en los requerimientos.

Con las tramas aceptadas, se procede a decodificarlas. Primero se determina si es una instrucción simple, o una instrucción compuesta (de multidesfino), esto se determina de acuerdo al número de tramas recibidas, si es mayor a uno, es una instrucción compuesta.

Para el caso de una instrucción simple, se verifica cual es y se ejecuta la acción correspondiente. Es decir fue implementada por medio de una estructura de selección múltiple (switch). Por ejemplo:

Caso (Instrucción 1) entonces (Acción 1) fin

Caso (Instrucción 2) entonces (Acción 2) fin

...

Para una instrucción compuesta, primero se determina cual es y luego se procede a realizar las acciones correspondientes, implementadas con repeticiones controladas. Esto para permitir la ejecución para diferente cantidad de usuarios. Una de estas instrucciones la constituye la actualización de los estados de los usuarios.

Finalmente, luego de ser decodificadas las instrucciones, se envía el reconocimiento por el puerto serie hacia una PC, con el fin de corroborar la perfecta ejecución del procesamiento de los comandos. Además se establecieron mensajes en puntos de quiebre (break points), con el fin de vigilar el comportamiento del receptor, estos últimos también enviados hacia el computador para su mejor visualización.

Capítulo 6: Análisis de resultados

La figura 6.1 ilustra la forma de onda del tono D (representación 0000 binaria). Esta tomada directamente de la salida de audio de la PC. Los otros tonos se presentan en el apéndice A.2.

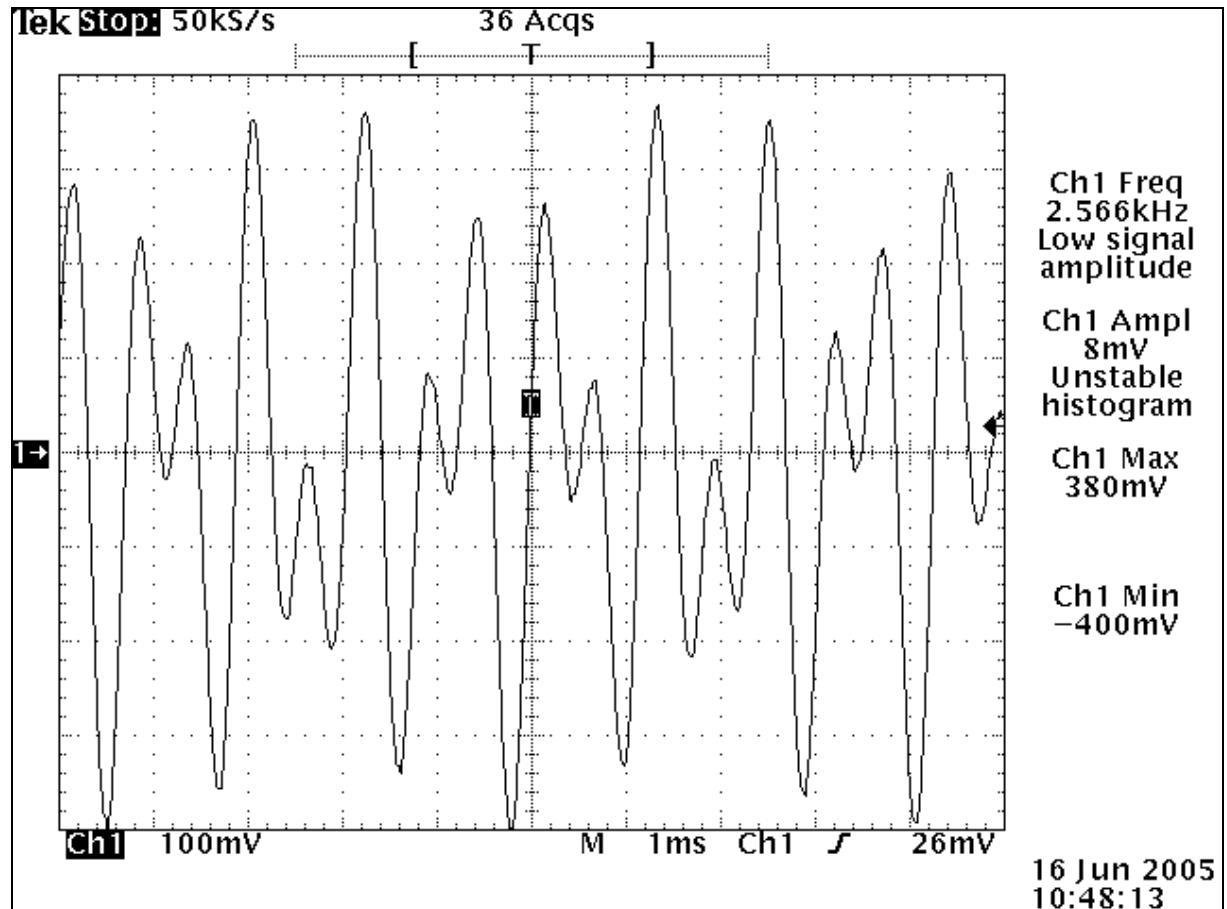


Figura 6.1 Forma de onda del tono D

Como se muestra en la figura la señal no posee ruido considerable que afecte la calidad del audio de canal 2. La inmunidad al ruido es una de las características de los tonos DTMF, y una de las consideraciones de este diseño, por ser señales de baja frecuencia. Además que con el voltaje de salida se cumplen los requerimientos de potencia del modulador, de acuerdo a las especificaciones (Anexo 2) para obtener una desviación de 25 kHz, en la modulación FM.

La escogencia de modulación FM para la prueba del protocolo correspondió a la utilización de los equipos ya existentes en la empresa con el fin de minimizar costos, y además que era posible enviar los tonos por la banda de audio del canal.

Para garantizar que en todos los lugares con la señal de Cable Caribe, se pudiese obtener los tonos enviados desde la cabecera, en la prueba del protocolo se utilizó la frecuencia del canal 2, ya que las pérdidas en el cable coaxial son menores

a bajas frecuencias como la canal 2⁷, puesto que la red es híbrida (cable coaxial y fibra óptica). Esto fue comprobado al enviar los tonos por el canal 2 y el canal 60 (438-444 MHz), donde la calidad del audio en el segundo canal a una distancia de 25 km (Bataan⁸) era inferior (ruidosa), si se comparaba con la señal del canal 2.

A pesar de no tener como objetivo un análisis de costos, la escogencia de los componentes debían contemplar su precio, muchas decisiones dependieron de la capacidad y disposición de la empresa en adquirirlas. A continuación se muestra el costo de los módulos tanto administrador como el receptor, que fueron diseñados e implementados para la prueba del protocolo, y se comparan con el precio de los sistemas actuales completos.

Tabla 6.1 Comparación de los diferentes sistemas de administración⁹

	MÓDULO ADMINISTRADOR	MÓDULO RECEPTOR	TOTAL
SISTEMAS DIGITALES	\$3,500	\$140	\$3,640
SISTEMAS ANALÓGICOS	\$1,200	\$35	\$1,235
SISTEMA CABLE CARIBE	\$25	\$25	\$50

Esta tabla evidencia el bajo costo del sistema, sin embargo hay que contemplar que este aún esta en etapa de diseño, cabe mencionar que el costo por el diseño no esta involucrado ni los gastos por la adquisición de las herramientas de programación y en el caso del módulo administrativo diseñado el costo descrito contempla un precio significativo que corresponde a los cables de conexión, debido a que no se diseño un hardware adicional.

Las experiencias con el entramado y la generación del código polinomial, se realizaron transmitiendo datos escogidos de forma aleatoria. Para estas pruebas se utilizó como bandera de inicio el tono 6, el tono 9 como código de escape, el número 19 como generador del polinomio, una dirección de FFFFFFFEA, sin retransmisión de la trama, y una longitud de datos máxima de 8 tonos por trama. La tabla 6.2 muestra una sección de los resultados obtenidos.

⁷ La atenuación en dB en una línea de cable coaxial varía con el cuadrado de la frecuencia. Por ejemplo para canal 13 (210-216 Mhz) es el doble del canal 2 (54-60 MHz). [13]

⁸ Cantón de la provincia de Limón donde Cable Caribe S.A. tiene sus clientes más distantes y donde posee una Terminal de cobro en donde se realizaron algunas pruebas.

⁹ Los precios de los equipos fueron suministrados por Cable Caribe S.A. con base a una consulta previa a proveedores.

Tabla 6.2 Resultados del entramado y código polinomial¹⁰

#	Dato	Código polinomial	Trama
1	0	<u>00</u>	6FFFFFFEA000 <u>00</u> 6
2	6	<u>06</u>	6FFFFFFEA00 <u>9609</u> 66
3	1234567890ABCDEF	<u>07</u>	6FFFFFFEA1012345 <u>96780</u> 76
		<u>0E</u>	6FFFFFFEA01 <u>990</u> ABCDEF <u>0E</u> 6
4	9BF6	<u>07</u>	6FFFFFFEA00 <u>99BF96</u> 076
5	14	<u>01</u>	6FFFFFFEA0014 <u>01</u> 6
6	13	<u>00</u>	6FFFFFFEA0013 <u>00</u> 6
7	6699	<u>07</u>	6FFFFFFEA00 <u>96969999</u> 076

Esta tabla refleja la veracidad del protocolo, puesto que cumple con cada uno de los objetivos descritos en la solución. Las letras en negrita representan los códigos de escape y las letras subrayadas constituyen la suma de verificación del código de redundancia cíclica (polinomial). Además en el caso del dato #3 se establecieron dos tramas para su envío, cumpliendo la cantidad de datos máxima por trama de datos, señalado en la capa de red.

La retransmisión de cada trama enviada se consideró como una solución a los posibles problemas en el trayecto de los tonos por la red y a la falta de un medio de verificación de recibido de los tonos por parte del receptor (comunicación simplex). Sin embargo se realizaron pruebas durante 2 días seguidos con un tiempo entre instrucciones de 1 s, con una duración promedio de la instrucción de 1.8 s. Los resultados se encuentran en la tabla 6.3.

Tabla 6.3 Resultados de las pruebas de transmisión

Número de instrucciones	Porcentaje de error (%)	
30851	0,0032	
61653	0,0016	
+30802	-0,0016	Diferencias

Para un total de 30851 instrucciones diferentes contabilizadas por el programa, solo el 0.0032 % (1 instrucción) no pudieron ser reconocidas como tramas válidas en la transmisión original, un porcentaje por demás aceptable si se considera que los estados de los usuarios son actualizados periódicamente. Conforme a los resultados se inhabilitó la retransmisión en posteriores intentos para mejorar la velocidad del sistema con aprobados resultados. Por el mismo periodo se transmitieron 61653 instrucciones diferentes y se obtuvo una tasa de error de 0.0016% (1 instrucción), lo que evidencia una disminución en el error a la mitad, ya que se mantuvo la cantidad de comandos erróneos, para casi el doble de

¹⁰ Los datos ilustrados son representados en código hexadecimal.

instrucciones. Esto habla muy bien del entramado y de las características de los tonos, que frecuencias difíciles de confundir, lo que brinda mucha seguridad a pesar de ser comunicación simplex.

Aparte de la validación de una trama por código polinomial, se estableció un tiempo máximo de espera de un tono nuevo. Este tiempo se implantó en 75 ms, que contempla los 50 ms de espacio entre en códigos y 25 ms de seguridad. Estos últimos permiten un retraso del dato pero a su vez diferencian un dato de otra trama. Este estado de aprobación se diseñó porque los módulos se encontrarán en diferentes lugares, y las pérdidas de datos por alimentación, u otros motivos, podrían saturar el buffer, crear falsas tramas o desincronizar el sistema. La desincronización podría darse debido a que el receptor procesa la trama hasta que llega completa, y en caso de pérdidas de datos, el inicio de una trama y el fin o inicio de otra podrían mezclarse.

El direccionamiento se validó programando el módulo de filtrado con diferentes direcciones y máscaras de red, para distinguir entre varios supuestos módulos y diferentes números de usuario. Los resultados obtenidos estuvieron acorde con las especificaciones del diseño detallado en el capítulo anterior, donde la trama se descartaba si la dirección no era la correcta, asimismo se pudo direccionar hasta 32 usuarios por módulo (según la máscara de red). Asimismo se comprobó el enrutamiento multidestino, actualizando el estado de cada usuario del módulo receptor mediante una instrucción, para un máximo de 32 usuarios (5 tramas), de otra forma se hubiesen enviado 32 instrucciones (de 1 trama cada una). Esto produce un aumento en la velocidad del sistema de 51200 ms a 10400 ms aproximadamente, que constituye una disminución de un 80% en el tiempo de envío.

El tiempo de transmisión de una trama varía de acuerdo al número de tonos que la integran. Para conocer este tiempo y compararlo con el teórico (50 ms de duración del tono y el mismo tiempo entre tonos) calculado de acuerdo a las especificaciones del estándar ANSI¹¹, el programa de alto nivel comunica la duración en tiempo teórico y la duración real del envío. La figura 6.2 ilustra estos resultados.

```
18/07/2005 <-> 12:32:44
6FFFFFFEA001016
15
Tiempo de Envio Teórico: 1500.0 ms
Tiempo de envio Real: 1469.0 ms
```

Figura 6.2 Tiempos de envío del programa de alto nivel.

Para una trama de 15 tonos la diferencia es de 31 ms, donde el tiempo de envío real es menor que el teórico, un tiempo admisible si lo dividimos entre el número de tonos enviados (16 tonos), lo que nos deja una diferencia de 1.93 ms, un

¹¹ Establece el tiempo de duración del tono mayor a 50 ms y de entre tonos, mayor a 45 ms.

tiempo muy pequeño comparado a la duración del tono o el espacio entre estos. Cabe aclarar que los tiempos varían de 1 a 8 ms para una misma trama, y depende si el dato ha sido transmitido con anterioridad, ya que la trama o los tonos se encuentran en la RAM de la PC, por lo que su tiempo de carga es menor. Por lo anterior se promediaron los tiempos de carga de acuerdo a una serie de transmisiones aleatorias para poder ser establecidos como constantes en el programa, y así obtener los resultados anteriores. A pesar de la alta duración de los datos (40 bits por segundo), la seguridad de recepción de los mismos suplen protocolos de comunicación más complejos y de mayor costo de diseño e implementación. No obstante la capa física fue diseñada de forma que la incorporación de otro tipo de modulación y transmisión resulta simple.

El control de los tiempos de filtrado se manejan en el programa de alto nivel, estos tiempos son variables desde el mismo o con la consola de la base de datos, y el tiempo de filtrado aumenta (tiempo 1, 2, 3) de acuerdo a los días de morosidad, este aumento no es manejado, en este proyecto, sólo se comprobó los tiempos de filtrado.

De acuerdo a los resultados anteriores se puede establecer que el comportamiento del protocolo cumple con las características, los requerimientos y los objetivos planteados con anterioridad.

Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

Una vez realizadas las actividades en el desarrollo del proyecto, se pudo adquirir un sistema que permitió comprobar las capacidades del protocolo implementado, las principales conclusiones obtenidas del proyecto son las siguientes.

- La utilización para el entramado de relleno de nibbles facilitó su implementación por códigos DTMF.
- El establecimiento de un tiempo máximo de entre códigos en el receptor evita la desincronización del sistema y la saturación del buffer de entrada.
- La incorporación de una máscara de red en el direccionamiento hace posible el enrutamiento multidesino y hasta 32 usuarios por módulo.
- El módulo de filtrado es capaz de reensamblar y decodificar instrucciones para 32 usuarios.
- La duración en la transmisión de las tramas es compensada con la seguridad en la recepción de las mismas.
- El enrutamiento multidesino aumenta considerablemente la velocidad de administración en un mismo módulo de filtrado.
- La retransmisión disminuye la velocidad del sistema sin mejorar la tasa de error considerablemente.
- El almacenamiento en buffer del receptor atenúa la fluctuación y evita el procesamiento de tramas incompletas.

7.2 Recomendaciones

Para el desarrollo futuro del proyecto algunas recomendaciones se enlistan a continuación.

- La utilización de una banda menor a la de canal 2 pero igualmente disponible en la red. Por ejemplo: 50 – 54 MHz.
- Diseñar o adecuar el modulador y demoduladores en la banda seleccionada.
- Escogencia o diseño de los filtros variables con control digital, para un fácil acople al microcontrolador.
- Adecuar una fuente de alimentación de la red para el módulo de filtrado.
- Conformar un prototipo funcional, que involucren más de un módulo de filtrado.

Bibliografía

- [1] Mitel. MT8870D *Integrated DTMF Receiver*. Mitel. Consultado el 27/03/2005. Disponible en http://assets.zarlink.com/DS/zarlink_MT8870D_MAY_05.pdf
- [2] Stremler, F. *Introducción a los sistemas de comunicación*. Addison Wesley Iberoamericana S.A. Tercera Edición. 1998.
- [3] Tanenbaum, A. *Redes de computadoras*. Pearson Education. Cuarta Edición. México, 2003.
- [4] Hill, Alberto. *MPEG-4 Sobre CATV* [en línea]. Consultado el 22/03/2005. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos14/memoria-grado/memoria-grado.shtml>
- [5] *Comunicación de datos*. [en línea]. Cybercursos.net. Consultado el 25/03/2005. Disponible en <http://ctc.aspira.org/PDF%20files/Comunicacion%20de%20Datos.pdf>
- [6] NCTA. 2000-2005. *Asignación de frecuencias para CATV*. [en línea]. NCTA. Consultado el 22/03/2005. Disponible en <http://www.catvnet.com.ar/13.html>
- [7] *Control remoto universal a distancia DTMF por línea telefónica*. [en línea]. Consultado el 24/03/2005. Disponible en <http://www.plazacolima.com/tecnoplaza/rformas/Articulo01/pagina1.htm>
- [8] *Modulación* [en línea]. Consultado el 26/05/2005. Disponible en <http://www.qsl.net/ea2ak/modulacion.htm>
- [9] Microchip. *PIC16F87X microcontroller data sheet*. Microchip. Consultado el 10/04/2005. Disponible en <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf>
- [10] MySQL. *WinMySQLAdmin data base*. Versión 1.0. Consultado el 11/04/2005. Disponible en <http://www.mysql.com/>
- [11] Sun Microsystems. *Software JAVA*. Versión Java™ 2. Sun Microsystems. Consultado el 11/04/2005. Disponible en <http://www.java.sun.com>
- [12] *Index of /images/archive/notebook/ttones*. Consultado el 29/03/2005. Disponible en <http://beradio.com/images/archive/notebook/ttones/>
- [13] Edminister, J. *Electromagnetismo*. McGraw Hill. Primera Edición. 1992.
- [14] ANSI. *DTMF SIGNALLING REQUIREMENTS*. Consultado el 12/04/2005. Disponible en <http://www.telepermit.co.nz/PTC200X7.html>

Apéndices

A.1 Glosario, abreviaturas y simbología

- AM: modulación en amplitud.
- ASK: conmutación de amplitud.
- Bauds: baudios (símbolos) por segundo.
- Bps: Convención utilizada para definir las velocidades de transmisión. Bits por segundo.
- CRC: código de redundancia cíclica.
- DTMF: Dual Tone Multi-Frequency (Tonos dobles de frecuencia múltiple)
- FM: modulación en frecuencia.
- FSK: conmutación de frecuencia.
- ICE: Instituto Costarricense de Electricidad.
- IEEE: Institute of Electrical and Electronics engineers.
- NCTA: National Cable Television Association
- PSK: conmutación de fase.
- RAM: memoria de acceso aleatorio.
- ROM: memoria de lectura inalterable.

A.2 Tonos DTMF generados por la PC

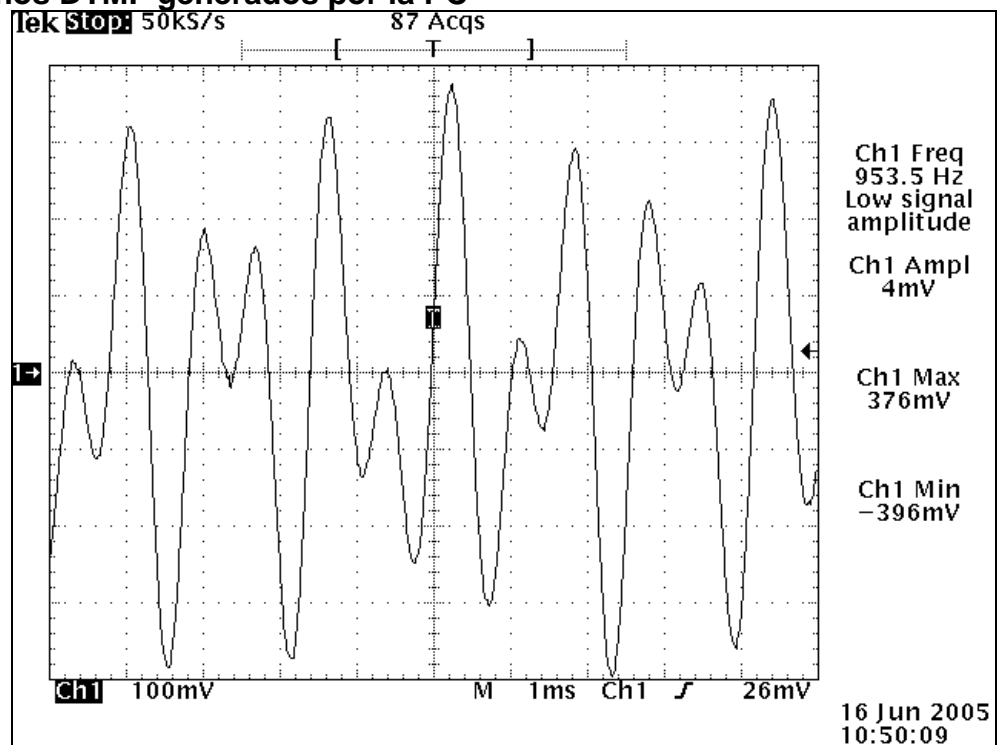


Figura A.2.1 Forma de onda del tono 1.

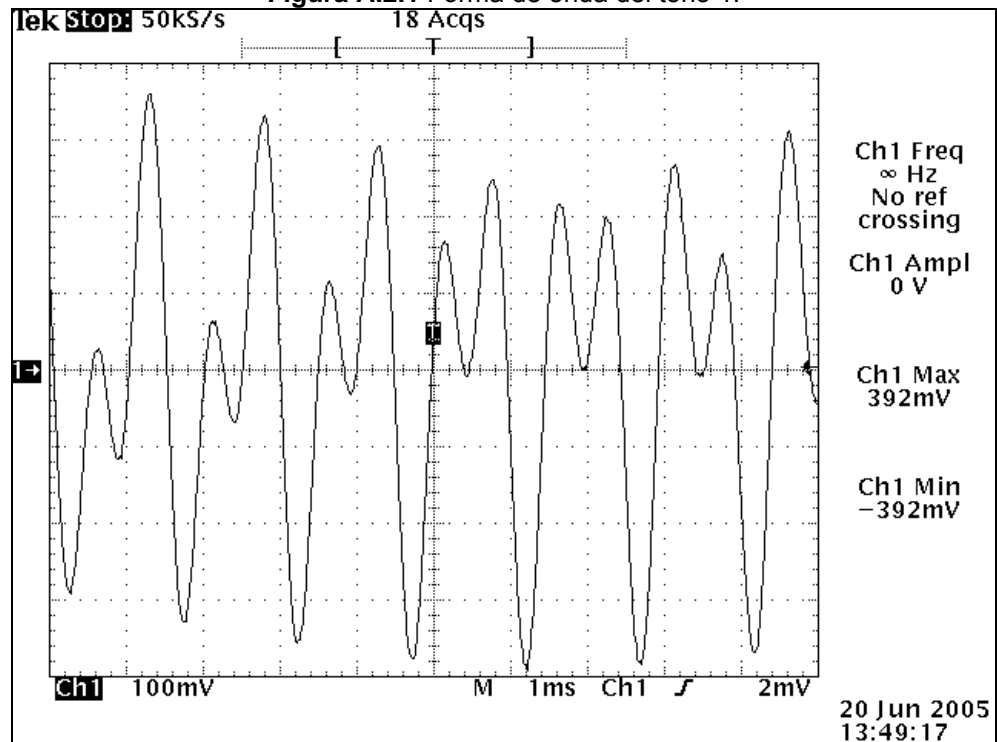


Figura A.2.2 Forma de onda del tono 2.

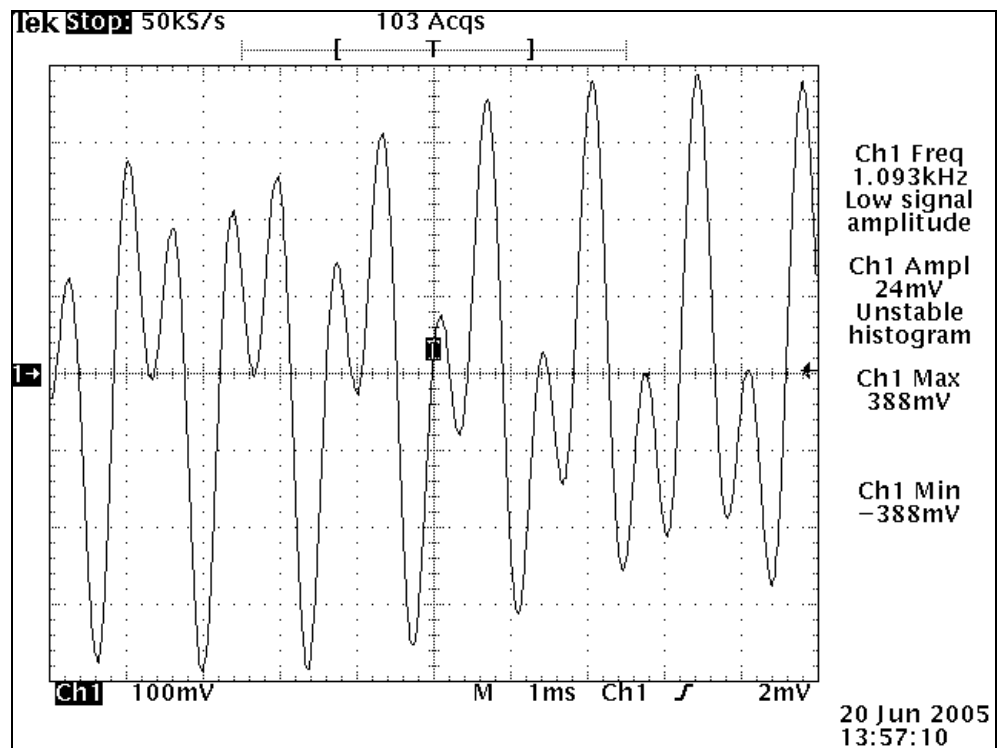


Figura A.2.3 Forma de onda del tono 3.

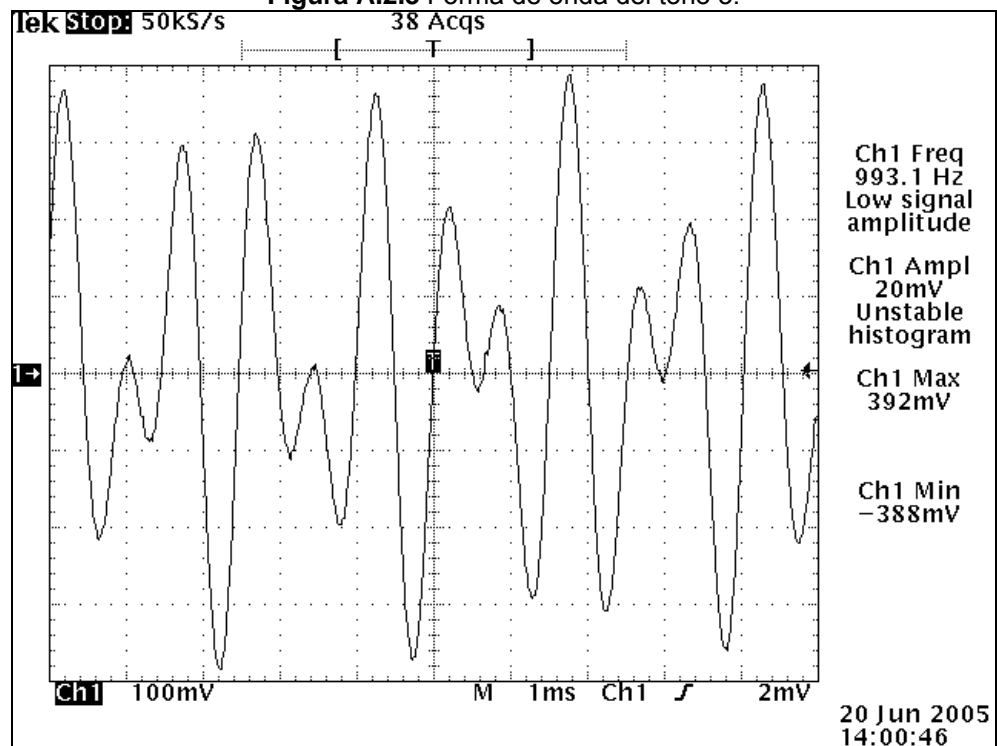


Figura A.2.4 Forma de onda del tono 4.

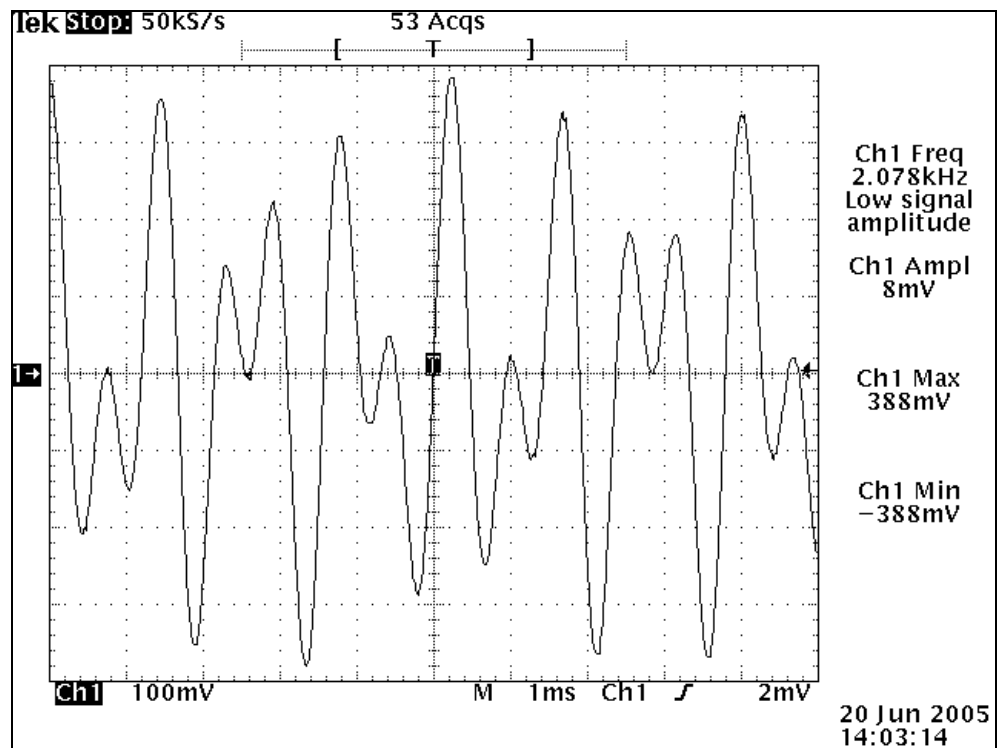


Figura A.2.5 Forma de onda del tono 5.

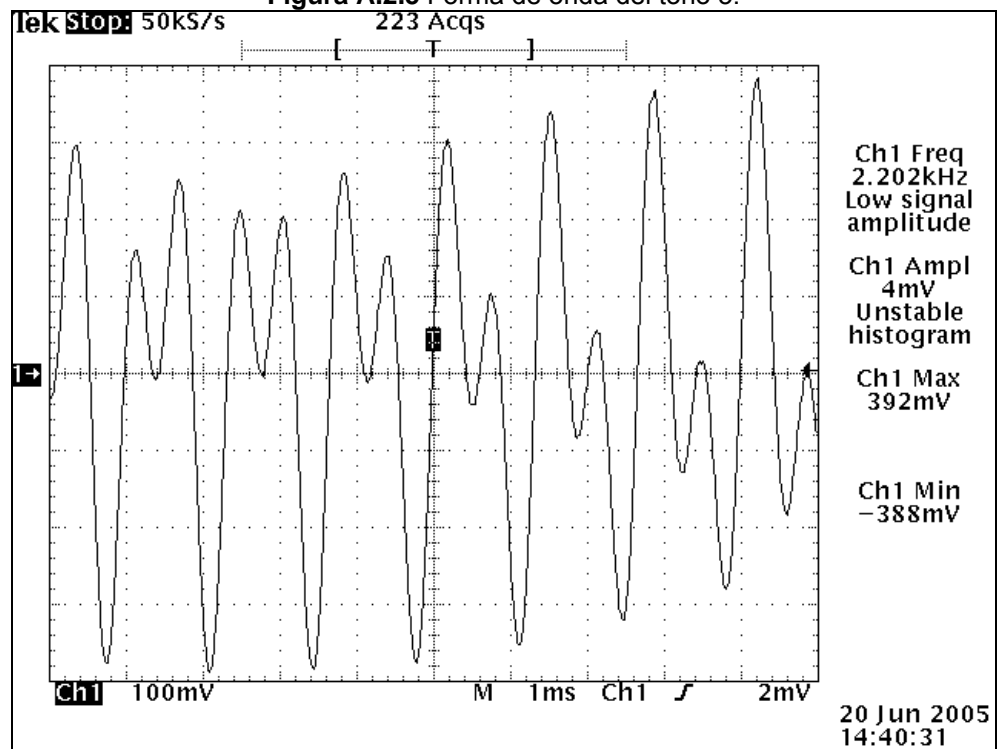


Figura A.2.6 Forma de onda del tono 6.

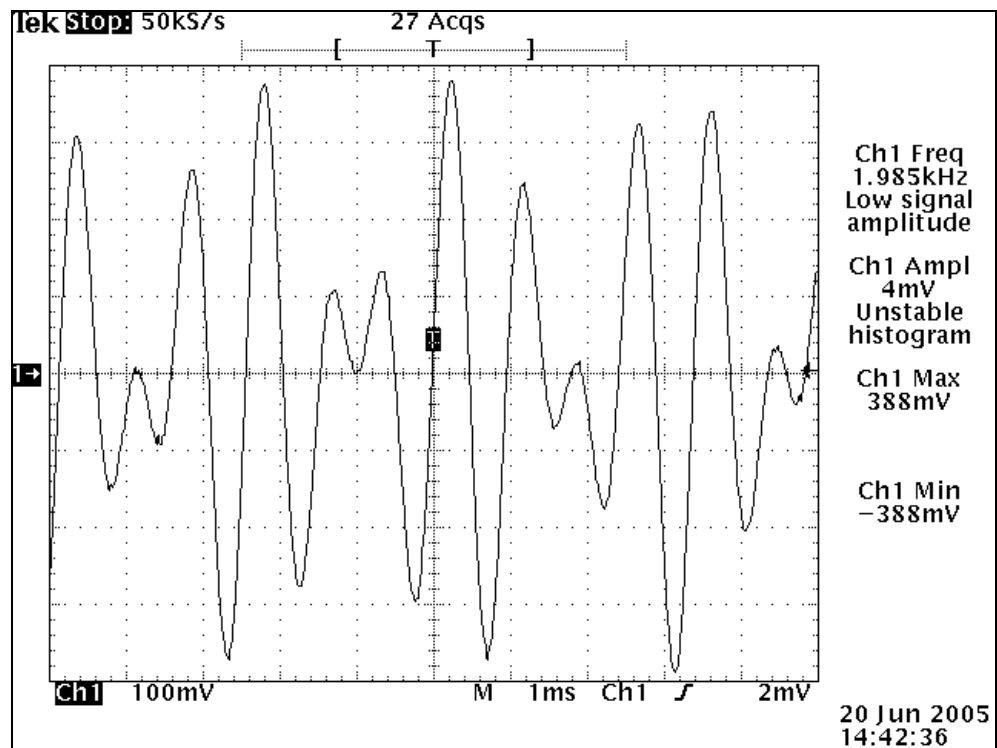


Figura A.2.7 Forma de onda del tono 7.

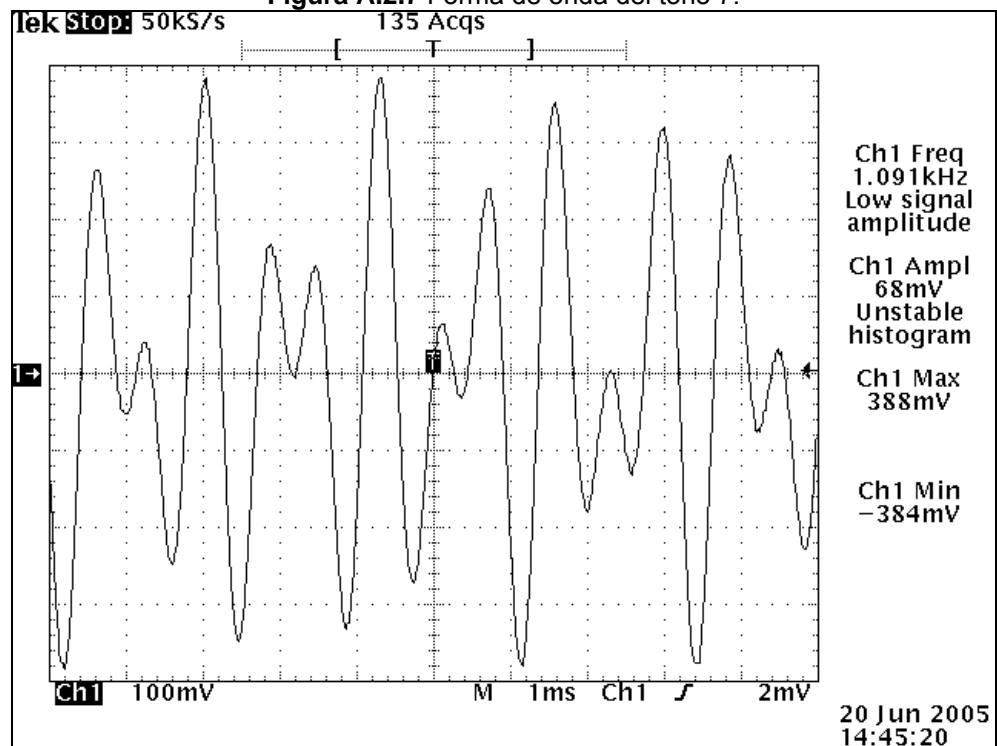


Figura A.2.8 Forma de onda del tono 8.

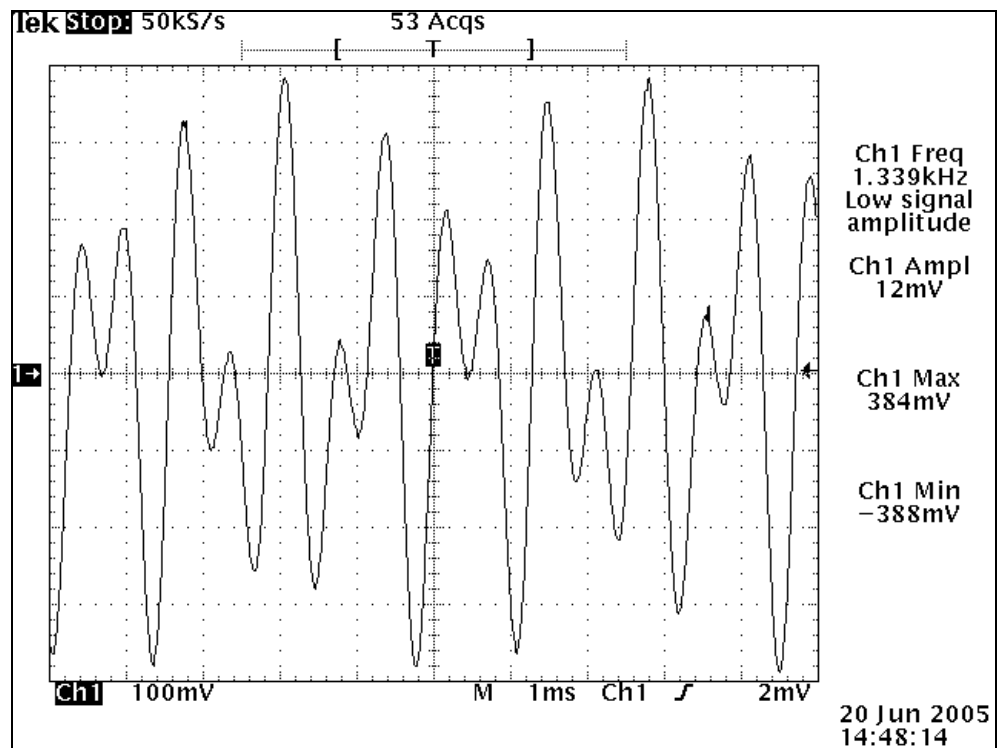


Figura A.2.9 Forma de onda del tono 9.

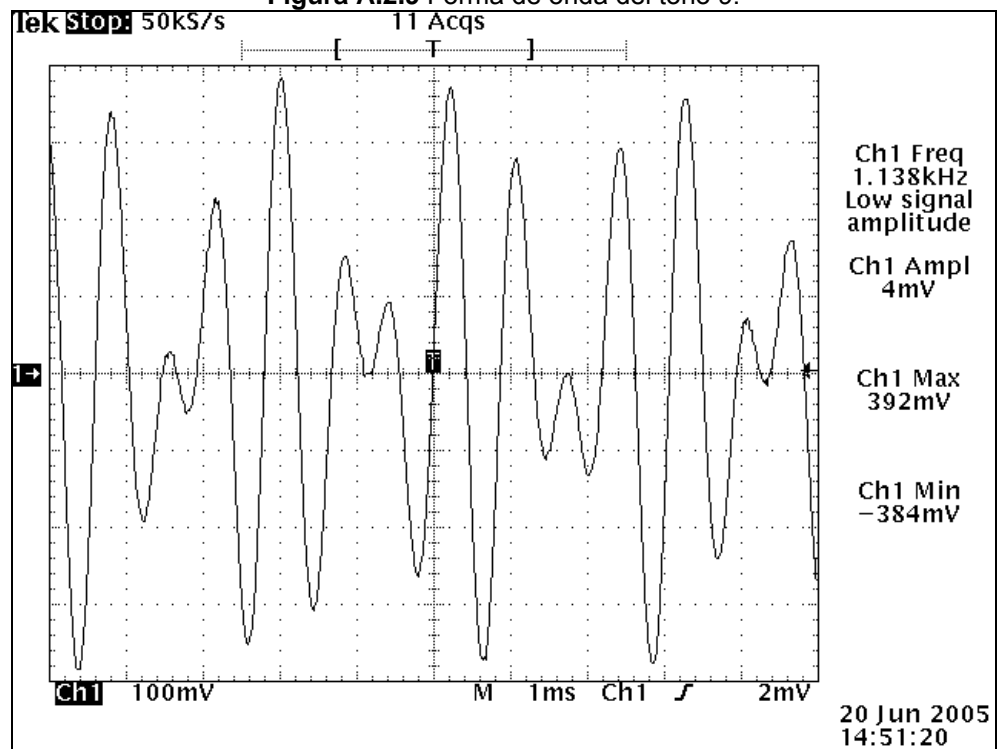


Figura A.2.10 Forma de onda del tono 0.

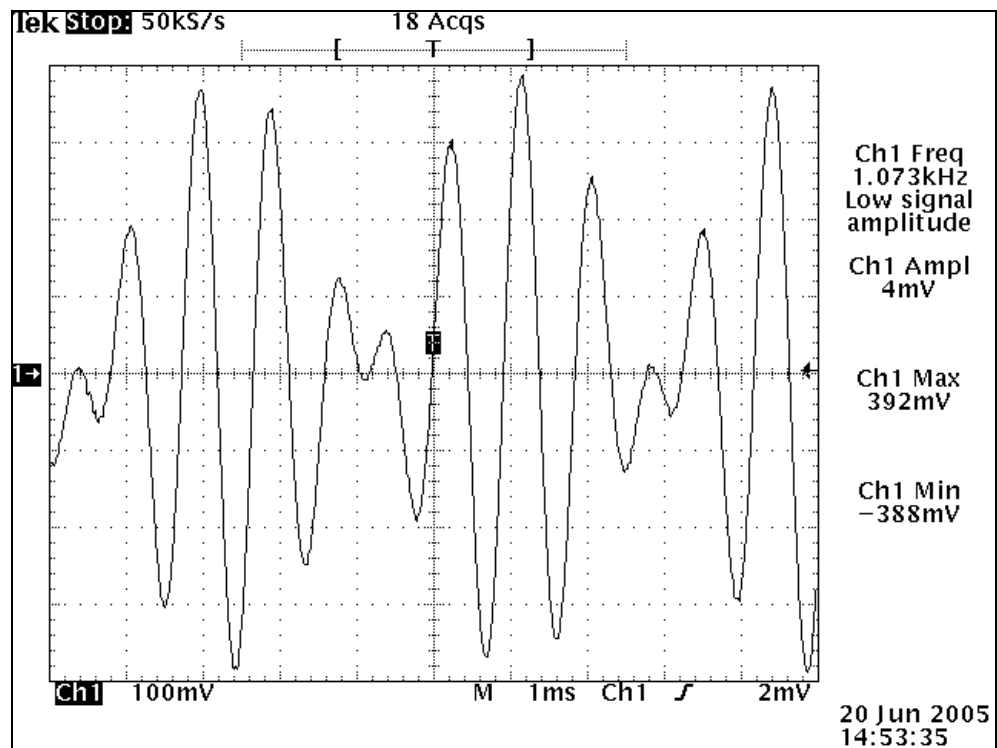


Figura A.2.11 Forma de onda del tono *.

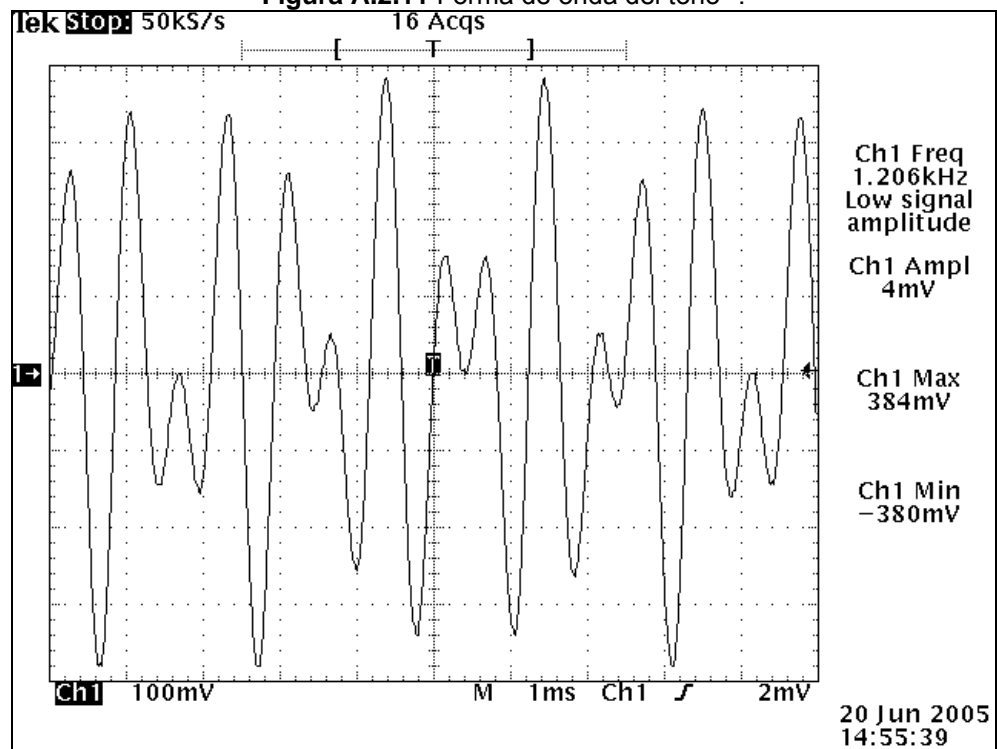


Figura A.2.12 Forma de onda del tono #.

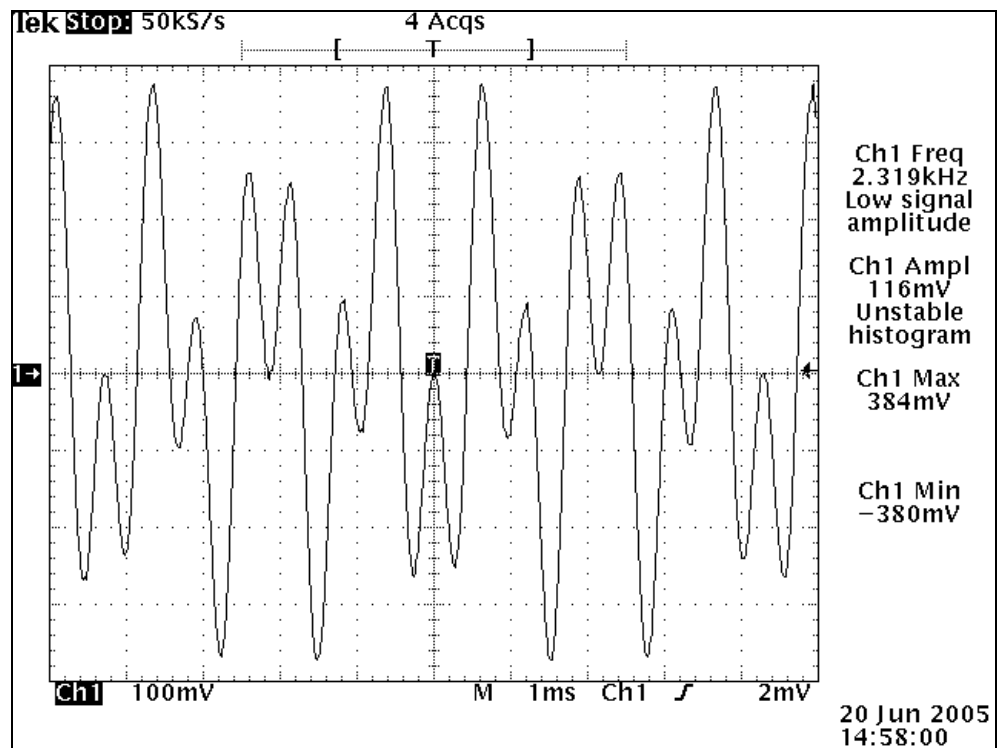


Figura A.2.13 Forma de onda del tono A.

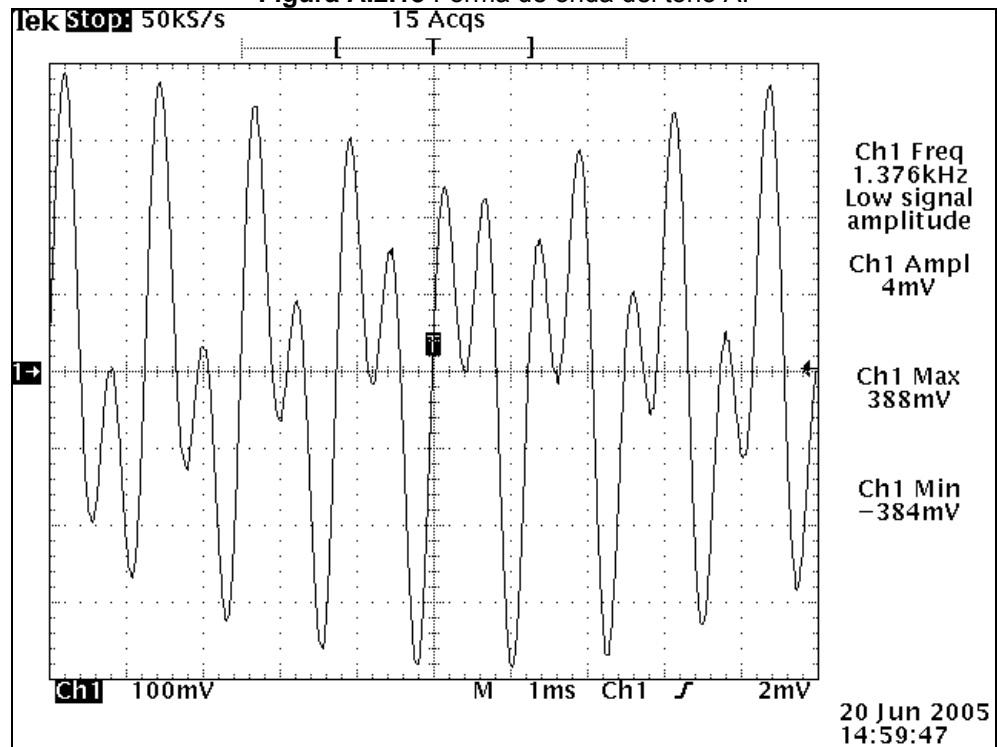


Figura A.2.14 Forma de onda del tono B.

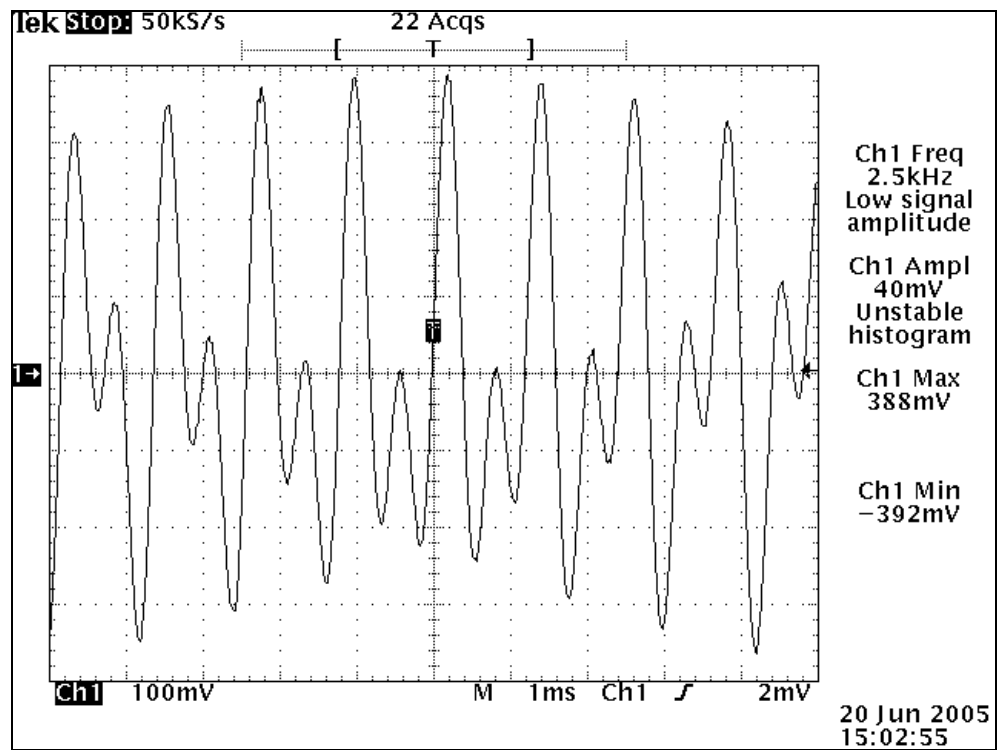


Figura A.2.15 Forma de onda del tono C.

A.3 Información sobre la empresa

Información tomada del marco de referencia institucional de Cable Caribe S.A.:

Cable Caribe S.A. se constituye en el año 1993, su domicilio legal se encuentra en Siquirres 75 metros al este del mercado Municipal. La empresa surge como parte del grupo Pereira López S.A. cuyo negocio principal es la venta de artículos de ferretería y materiales para la construcción.

Actualmente esta empresa en la industria de la televisión por cable cubre casi el 60% de la zona Atlántica esto debido a que la red abarca desde Bataán hasta Pocora.

Las comunidades cuentan con un medio de comunicación y entretenimiento muy poderoso que permite establecer un vínculo entre sus miembros y poder hacer frente a la gran cantidad de problemas con que cuenta la zona atlántica.

A.4 Estándar ANSI de telefonía

A continuación se presenta un extracto de las especificaciones de las señales DTMF utilizados en telefonía.

ANSI standards state that DTMF tones used in telephony must meet the following criteria:

- The DTMF duration must be at least 50ms.
- The inter-digit interval (silence) between tones must be at least 45ms.
- The receiver should receive the DTMF digits with a signal strength of at least -25dBm and no more than 0dBm.
- The energy strength of the high-group frequency must be -8 dB to +4 dB relative to the energy strength of the low-group frequency as measured at the receiver.

A.5 Pico Macom PCM55 Audio & Video Modulator



Description: The PCM55 modulators have been designed to provide adjacent channel compatibility and FCC Docket 21006 frequency accuracy. This low cost modulator maintains a full 55 dBmV output on any single VHF, Mid band or Super band channel. Modulated channels may be inserted on any unused channel within a closed circuit MATV or SMATV system. High quality external modulation and RF level controls assure years of reliable operation. The modulator is shipped with all internal adjustments pre-set and FCC Docket 21006 offsets are standard at no extra cost. Pico Macom, Inc. backs the product with a two year limited warranty.

Features: Superior vestigial sideband filtering for adjacent channel systems. * Full +55 dBm V output. * Low spurious harmonic output. * Meets FCC Docket 21006 requirements. * Highly accurate crystal controlled oscillator. * Available in channels T8 thru T11 & 2-36. * front panel -30 dB test point. * rear panel AC convenience output. * U.L. and C.S.A listed. * Two year limited warranty.

RF

Channels:	90 Channels (CATV T7-T13, 2-78, 95-99)
Frequency Range:	5.75-550 MHz
Output Level:	55 dBV min., 58 dBmV typ. adjustable from front panel
Output Impedance:	75 Ohms
Output Return Loss:	-15 dB
Audio/Video Ratio:	Adjustable -7 to -22 dB below video carrier
Frequency Stability:	±10 KHz (±5 kHz in aeronautical band)
Spurious Output:	-60 dB below video carrier with A/V ratio @ -15 dB
C/N (In-Band):	>62 dB
C/N (Out-of Band):	>65 dB
Rejection:	Fv - 1.5 MHz >-60 dB Fv - 4.5 MHz >-63 dB Fa + 1.5 MHz >-63 dB Fa + 4.5 MHz >-63 dB

Audio

Frequency Response:	±0.4 dB @ 50 Hz to 15 kHz
Harmonic Distortion:	0.5% @ 50 Hz to 15 kHz
Preemphasis:	75 microseconds
Signal to Noise Ratio:	60 dB
Audio Baseband Impedance:	600 Ohms
Input Level:	0.5V p-p for 25 KHz peak deviation

Video

Input Level:	1.0 V p-p for 87.5% mod.
Input Level Range:	0.5 V p-p to 1.5 V p-p
Input Type:	Clamped video neg. sync
Frequency Response:	±1.5 dB, DC to 4.2 MHz
Differential Gain:	<5% (10 to 90% APL)
Differential Phase:	>5° (10 to 90% APL)
Hum and Noise:	-60 dB @ 87.5% modulation
Video Signal to Noise:	-60 dB minimum (weighted)

Meets FCC group delay predistortion correction requirement for color transmission.

General

Power Input:	120 VAC 60 Hz 10W
Operating Temperature:	-10°C to 50°C
Dimensions:	19"(L) x 3"(D) x 1 3/4"(H)
Weight:	3.6 lbs.
Connectors:	"F" Type

Ordering Information

PCM55SAW - Channel

A.6 Pico Macom PFAD Audio & Video Demodulator

PFAD 900css Agile Audio & Video Demodulator w/Sub Band



Features

- Microprocessor controlled phase locked loop oscillator for precise channel selection
- SAW filter for superior vestigial sideband response
- Keyed AGC system for excellent picture stability
- Envelope detection ensures exceptional differential gain and phase
- Quadrature single tuned audio detection
- 4.5 MHz and MPX subcarrier output for BTSC application
- 45.75 MHz I.F. monitor
- Separate video and audio outputs
- Five year limited warranty*

Description

The **PFAD 900css** is a high quality cable television video/audio demodulator utilizing micro-processor controlled tuning. The unit demodulates VHF, UHF and cable channels from 5.75 MHz to 806 MHz. IRC and HRC offsets can be activated by push button switches located in the front panel. The **PFAD 900css** incorporates a phase locked loop synthesized L.O. in conjunction with a non-volatile microprocessor for precise frequency selection.

The unit accepts any NTSC television signal in the 5.75 MHz to 806 MHz frequency range and converts it to baseband video and audio. Three additional outputs are provided by the **PFAD 900css**; an I.F. output to monitor the status of the tuner and also for use with other up converters, a 4.5 MHz subcarrier and a broadband multiplex output for MPX/BTSC stereo application. **PICO MACOM, INC.** backs the product with a five year limited warranty*.

Specifications

RF

Bandwidth:	54 MHz to 806 MHz
Input Level:	Single channel, +40dBmV max. 60 channels, +20dBmV max.
Image rejection:	
(@ -47dbm input)	VHF-70dB, UHF-60dB
(@ -17dbm input)	VHF-60dB, UHF-50dB
Noise figure:	VHF-8dB, UHF-8dB

Video

Video Output Level:	0.5 to 1 V P-P
Impedance:	75Ω
Bandwidth:	DC to 4.2 MHz
Frequency response:	± 1.5 dB
Differential gain:	<5% max. (10 to 90% APL)
Differential phase:	<5° max. (10 to 90% APL)
Detector type:	Envelope

Audio

Output level:	1 volt unbalanced de-emphasized
Output impedance:	600Ω
Frequency response:	20 Hz to 15 KHz
Detection type:	Quadrature FM
4.5 MHz subcarrier output level:	35dBmV
MPX output level:	800mV unbalanced @ 600Ω

General

Power Input:	117 VAC, 60 Hz
Operating Temperature:	+10°C to +30°C
Dimensions:	19"L x 1.75"H x 3"D
Weight:	4.32 pounds
Connectors:	
Video Out, IF Out and 4.5 MHz out:	"F" type
MPX Out, Audio Out:	RCA type